

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-318854

(43)Date of publication of application : 08.12.1995

(51)Int.Cl.

G02B 27/09

G02B 6/32

G02B 6/42

(21)Application number : 06-136614

(71)Applicant : HOYA CORP

(22)Date of filing : 27.05.1994

(72)Inventor : OOTSU HITONOBU

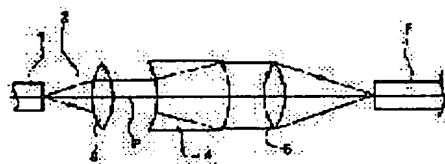
## (54) BEAM SHAPE COMPENSATING OPTICAL SYSTEM

## (57)Abstract:

PURPOSE: To increase optical coupling efficiency and to reduce the cost of the system by converging a light beam from a light source having an anisotropic radiation angle so as to be a beam spot substantially having a circular cross section.

CONSTITUTION: This system is composed of a light source 1 transmitting a radiating light beam having an anisotropic radiation angle, a collimator optical system 3 arranged on the optical axis P of the light source 1 and converting the radiating light beam from the light source 1 to a parallel light beam and a converged spot forming optical system 4. By representing a cross section including the optical axis P of the light source 1 and having smaller radiation angle of the light source 1 by 4L cross section and a cross section having larger radiation angle of the light source by a  $\theta_{4L}$  cross section, the focal distance  $f_{4L}$  of a converged spot forming optical system 5 on the cross section 4L differs from the focal distance  $f_{\theta_{4L}}$  of a converged spot forming optical system 5 on the cross section  $\theta_{4L}$  and the condition expressed by the relation is satisfied. In the relation,  $\theta_{4L}$  is a half angle of radiation angle of the light source on the cross section 4L and  $\theta_{\theta_{4L}}$  a half angle of radiation angle of the light source on the cross section  $\theta_{\theta_{4L}}$ .

$$\frac{f_{4L} \sin(\theta_{4L})}{f_{\theta_{4L}} \sin(\theta_{\theta_{4L}})} = 2.0$$



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

07.03.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision]



(51) Int. Cl. <sup>1</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G02B 27/09

6/32

6/42

G02B 27/00

E

審査請求 未請求 請求項の数 13 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願平 6-136614

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 5 月 27 日

(71) 出願人 000113263

ホーヤ株式会社

東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号

(72) 発明者 大津 人宣

東京都新宿区中落合 2 丁目 7 番 5 号 ホーヤ  
株式会社内

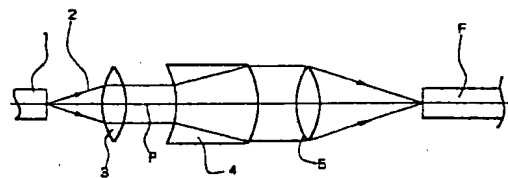
(74) 代理人 弁理士 真田 修治

(54) 【発明の名称】 ビーム形状補正光学系

(57) 【要約】

【目的】 非等方な放射角を持つ光源と光ファイバーとの光結合の際に、光結合光学系の導波モードと光ファイバーの導波モードとのモードミスマッチを低減させて光結合効率の高効率化を図る。

【構成】 半導体レーザー 1 からの非等方な放射角を持つ光源 1 からの放射光束 2 を、光軸回転対称形のコリメータレンズ 3 により略楕円形状断面を持つ平行光束に変える。この平行光束を、コリメータレンズ 3 の後方光軸 P 上に配置されたビーム形状補正レンズ 4 の水平断面に形成したシリンダー面による拡大的なビーム形状補正作用により、略円形断面の平行光束に変える。この略円形断面の平行光束を光軸回転対称形の集光レンズ 5 により光ファイバー F の入射端面上に集光ビームスポット像として集光させる。この結果、非等方な放射角を持つ光源 1 と光ファイバー F との高効率な光結合が図れることになる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非等方な放射角を持つ放射光束を出射する光源と、この光源の光軸上に配置され且つ前記光源からの前記放射光束を平行光束に変えるコリメータ光学系と、このコリメータ光学系の後方光軸上に配置され、且つ、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの光束を集光スポット像として結像せしめ

$$0.5 \leq \frac{|f_{\perp}| \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} \leq 2.0$$

但し、 $\theta_{//}$ ：前記光源の//断面における放射角の半値全角

$\theta_{\perp}$ ：前記光源の⊥断面における放射角の半値全角  
なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とするビーム形状補正光学系。

【請求項 2】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能を持つ単レンズと、この単レンズからの出射光束を集光させ得る集光レンズとから構成され、

さらに、前記単レンズの光源側の面と像側の面が、前記//断面にだけ曲率を持つシリンダー面であって、且つ、前記光源側のシリンダー面および前記像側のシリンダー面がいずれも前記光源側に凹面を向けた面としてそれぞれ形成され、しかも、これらの両面が前記//断面において  $f_{\perp}/f_{//}$  倍のビーム形状補正機能を果し得る曲率半径を持ち、

$$0.15 < R_{2//} / (n^3 \cdot R_{1//}) < 2.5$$

但し、 $n$ ：前記単レンズの屈折率

$R_{1//}$ ：前記単レンズの//断面における光源側のシリンダー面の曲率半径

$R_{2//}$ ：前記単レンズの//断面における像側のシリンダー面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 3】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能を持つ単レンズと、この単レンズからの出射光束を集光させ得る集光レンズとから構成され、

さらに、前記単レンズの光源側の面と像側の面が、前記⊥断面にだけ曲率を持つシリンダー面であって、且つ、前記光源側のシリンダー面および前記像側のシリンダー面がいずれも前記光源側に凸面を向けた面としてそれぞれ形成され、しかも、これらの両面が前記⊥断面において  $f_{//}/f_{\perp}$  倍のビーム形状補正機能を果し得る曲率半径を持ち、

$$0.15 < R_{1\perp} / (n^3 \cdot R_{2\perp}) < 2.5$$

但し、 $n$ ：前記単レンズの屈折率

$R_{1\perp}$ ：前記単レンズの⊥断面における光源側のシリン

る集光スポット形成光学系とから構成され、

前記光源の光軸を含み且つ前記光源の放射角の小さい方の断面を//断面とし、前記光源の光軸を含み且つ前記光源の放射角の大きい方の断面を⊥断面としたときに、前記//断面における前記集光スポット形成光学系の焦点距離  $f_{//}$  と、前記⊥断面における前記集光スポット形成光学系の焦点距離  $f_{\perp}$  とがそれぞれ異なり、

ダー面の曲率半径

$R_{2\perp}$ ：前記単レンズの⊥断面における像側のシリンダー面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 4】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能を持つ単レンズと、この単レンズからの出射光束を集光させ得る集光レンズとから構成され、

さらに、前記単レンズの光源側の面と像側の面が、前記//断面にだけ曲率を持つシリンダー面であって、且つ、前記光源側のシリンダー面が前記光源側に凸面を向けた面として、また、前記像側のシリンダー面が前記光源側に凹面を向けた面としてそれぞれ形成され、しかも、これらの両面が前記//断面において  $f_{\perp}/f_{//}$  倍のビーム形状補正機能を果し得る曲率半径を持ち、

$$-2.5 < R_{2//} / (n^3 \cdot R_{1//}) < -0.1$$

但し、 $n$ ：前記単レンズの屈折率

$R_{1//}$ ：前記単レンズの//断面における光源側のシリンダー面の曲率半径

$R_{2//}$ ：前記単レンズの//断面における像側のシリンダー面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 5】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能を持つ単レンズと、この単レンズからの出射光束を集光させ得る集光レンズとから構成され、

さらに、前記単レンズの光源側の面と像側の面が、前記⊥断面にだけ曲率を持つシリンダー面であって、且つ、前記光源側のシリンダー面が前記光源側に凸面を向けた面として、また、前記像側のシリンダー面が前記光源側に凹面を向けた面としてそれぞれ形成され、しかも、これらの両面が前記⊥断面において  $f_{//}/f_{\perp}$  倍のビーム形状補正機能を果し得る曲率半径を持ち、

$$-2.5 < R_{1\perp} / (n^3 \cdot R_{2\perp}) < -0.1$$

8

20

30

40

50

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$R_{1\perp}$  : 前記単レンズの $\perp$ 断面における光源側のシリンダー面の曲率半径

$R_{2\perp}$  : 前記単レンズの $\perp$ 断面における像側のシリンダー面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 6】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面にシリンダー面を具え且つその像側の面にトロイダル面を具えた単レンズとして構成され、

$$-0.95 \leq \{n \cdot R_{1\perp} - (n-1)t\} / (n \cdot R_{2//}) \leq -0.25$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1\perp}$  : 前記単レンズの $\perp$ 断面における光源側のシリンダー面の曲率半径

$R_{2//}$  : 前記単レンズの $//$ 断面における像側のトロイダル面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 7】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面にシリンダー面を具え且つその像側の面にトロイダル面を具えた単レンズとして構成され、

$$-3.5 \leq \{n \cdot R_{1\perp} - (n-1)t\} / (n \cdot R_{2//}) \leq -1.05$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1\perp}$  : 前記単レンズの $\perp$ 断面における光源側のシリンダー面の曲率半径

$R_{2//}$  : 前記単レンズの $//$ 断面における像側のトロイダル面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴

$$0.2 \leq \frac{R_{2//}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\}t} \leq 0.95$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1//}$  : 前記単レンズの $//$ 断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2//}$  : 前記単レンズの $//$ 断面における像側のトロイダ

とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 8】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面にトロイダル面を具え且つその像側の面にシリンダー面を具えた単レンズとして構成され、

$$-1 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq -0.05$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1//}$  : 前記単レンズの $//$ 断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 9】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面にトロイダル面を具え且つその像側の面にシリンダー面を具えた単レンズとして構成され、

$$0.05 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq 0.8$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1//}$  : 前記単レンズの $//$ 断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項 1 に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項 10】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面と像側の面にいずれもトロイダル面を具えた単レンズとして構成され、

$$-1 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq -0.05$$

ル面の曲率半径

$R_{1\perp}$  : 前記単レンズの $\perp$ 断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2\perp}$  : 前記単レンズの $\perp$ 断面における像側のトロイダル面の曲率半径

なる2つの条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項1に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項11】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正

$$0.2 \leq \frac{R_{1//}}{R_{1\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\}t} \leq 0.95$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1//}$  : 前記単レンズの//断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2//}$  : 前記単レンズの//断面における像側のトロイダル面の曲率半径

$R_{1\perp}$  : 前記単レンズの⊥断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2\perp}$  : 前記単レンズの⊥断面における像側のトロイダル面の曲率半径

なる2つの条件式を満足するように構成されて成ること

$$1.05 \leq \frac{R_{1//}}{R_{1\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\}t} \leq 2.8$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1//}$  : 前記単レンズの//断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2//}$  : 前記単レンズの//断面における像側のトロイダル面の曲率半径

$R_{1\perp}$  : 前記単レンズの⊥断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2\perp}$  : 前記単レンズの⊥断面における像側のトロイダル面の曲率半径

なる2つの条件式を満足するように構成されて成ること

$$1.05 \leq \frac{R_{1//}}{R_{1\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\}t} \leq 2.8$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$t$  : 前記単レンズの軸上肉厚

$R_{1//}$  : 前記単レンズの//断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2//}$  : 前記単レンズの//断面における像側のトロイダル面の曲率半径

$R_{1\perp}$  : 前記単レンズの⊥断面における光源側のトロイダル面の曲率半径

$R_{2\perp}$  : 前記単レンズの⊥断面における像側のトロイダル面の曲率半径

なる2つの条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とする請求項1に記載されたビーム形状補正光学系。

機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面と像側の面にいずれもトロイダル面を具えた単レンズとして構成され、

$$0.05 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq 1$$

10 を特徴とする請求項1に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項12】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面と像側の面にいずれもトロイダル面を具えた単レンズとして構成され、

$$-1 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq -$$

20 0.05

を特徴とする請求項1に記載されたビーム形状補正光学系。

【請求項13】 前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能と、このビーム形状補正機能によりビーム形状が補正された光束を所望の像面に集光させる集光機能とを併せ持ち、さらに、その光源側の面と像側の面にいずれもトロイダル面を具えた単レンズとして構成され、

$$0.05 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq 1$$

【発明の詳細な説明】

【0001】

40 【産業上の利用分野】本発明は、例えば互いに光軸を含み且つ互いに直交する2つの断面において放射角が大きく異なるような光源と、例えばシングルモード光ファイバーとの間の光結合用光学系に用いて好適なビーム形状補正光学系に関するものである。

【0002】

【従来の技術】所定の光源と光ファイバーとの間の光結合を行う場合には、光源から出射された光束を適宜の結像光学系を用いて光ファイバーの入射端面上に集光させるという方法を用いる。その1つの例として、全ての方向に放射される出射光束の放射角が等しい光源（以下、

「等方な放射角を持つ光源」という)を使用する場合がある。

【0003】このようなケースでは、図69に示すように、等方な放射角を持つ光源O、光軸回転対称形のコリメータ光学系Ls1、光軸回転対称形の結像光学系Ls2、光ファイバーFを、光結合光軸(以下、単に「光軸」という)P上に沿って光源Oから順次に配置された光結合光学系を使用するのが普通である。そして、まず、光源Oからの放射光束をコリメータ光学系Ls1によって円形断面を持つ平行光束に変え、その後、この円形断面を持つ平行光束を結像光学系Ls2により光ファイバーFの入射端面上に円形断面のビームスポットとして集光させるという方法で光結合を行う。

【0004】従って、等方な放射角を持つ光源Oを用いるときには、コリメータ光学系Ls1と結像光学系Ls2とに、例えば光軸回転対称形の非球面レンズのように十分に収差の補正された光学系を用いるようにしさえすれば、実質的に真円断面となる集光スポット像を得ることが可能になる。

【0005】この場合、光ファイバーFの持つ導波モードが示すビームスポット形状は、円形断面であるから、この実質的に真円断面となる集光スポット像が得られる光学系を用い、且つ、良好に収差補正された光軸回転対称形のコリメータ光学系Ls1と結像光学系Ls2とを使用して、光源Oからの等方な放射光束を光ファイバーFの入射端面上に集光させるように構成すれば、光結合が困難と云われる光源とシングルモード光ファイバーとの光結合の場合であっても、非常に高い光結合効率を得られることになる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】一方、互いに光軸を含み且つ互いに直交する断面において放射角が大きく異なるような光源、例えば発振波長 980nmの半導体レーザーからの出射光束のように、非等方な放射角を持つ放射光束を出射する光源(以下、「非等方な放射角を持つ光源」という)を用いて光結合を行うケースでは、非等方な放射角を持つ光源から出射される放射光束の最小角と最大角との角度差が、例えば水平断面とこれに直交する垂直断面とで大きくなるため、図70および図71に示すように、光源O'からの放射光束がコリメータ光学系Ls1に入射すると、光軸Pを含むそれぞれの断面における入射光束の光軸Pからの高さは、図70に示すように、水平断面において最も低く、水平断面から垂直断面の方向に変わるにつれて段々高くなり、図71に示すように、垂直断面において最も高くなる。

【0007】そのため、コリメータ光学系Ls1から出射

$$0.5 \leq \frac{|f_{\perp}| \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} \leq 2.0$$

但し、 $\theta_{//}$ : 前記光源の//断面における放射角の半値全 50 角

した段階の光源O'からの光束の断面形状は、非円形(例えば長軸と短軸とが大きく異なるような略楕円形)となり、この状態の平行光束が、結像光学系Ls2により光ファイバーFの入射端面上に集光されることになる。

【0008】この結果、結像光学系Ls2により作られた集光スポット像は、水平断面における光束幅が広く(長軸)、これと直交する垂直断面における光束幅が狭く(短軸)なる略楕円形断面のビームスポット像となる。このことは、非等方な放射角を持つ光源O'を使用する光結合では、たとえ良好に収差補正された光軸回転対称形のコリメータ光学系Ls1および結像光学系Ls2を用いた場合であっても、略楕円形断面のビームスポット像しか得られないことを意味する。

【0009】従って、このような略楕円形断面のビームスポット像が、本来円形断面であるビームスポットの導波モードを示す光ファイバーFへと導かれると、光ファイバーの導波モードとの間にモードミスマッチが生じて、高い光結合効率を得ることが著しく困難となる。すなわち、光結合効率の低下を招くことになる。

20 【0010】本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、非等方な放射角を持つ光源と光ファイバーとの光結合の際に、非等方な放射角を持つ光源からの光束を実質的に円形断面を持つビームスポットとして集光させることにより、光結合光学系と光ファイバーの導波モードとのモードミスマッチを低減させて光結合効率の高効率化を図ると共に、構成的にも簡素で低コストであるビーム形状補正光学系を提供することにある。

【0011】

30 【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明に係るビーム形状補正光学系は、非等方な放射角を持つ放射光束を出射する光源と、この光源の光軸上に配置され且つ前記光源からの前記放射光束を平行光束に変えるコリメータ光学系と、このコリメータ光学系の後方光軸上に配置され、且つ、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの光束を集光スポット像として結像せしめる集光スポット形成光学系とから構成され、前記光源の光軸を含み且つ前記光源の放射角の小さい方の断面を//断面とし、前記光源の光軸を含み且つ前記光源の放射角の大きい方の断面を⊥断面としたときに、前記//断面における前記集光スポット形成光学系の焦点距離 $f_{//}$ と、前記⊥断面における前記集光スポット形成光学系の焦点距離 $f_{\perp}$ とがそれぞれ異なり、

【0012】

$\theta_{\perp}$  : 前記光源の $\perp$ 断面における放射角の半値全角なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とするものである。

【0013】また、上記の目的をよりよく達成するために、本発明は、前記集光スポット形成光学系が、前記コリメータ光学系を経て平行光束に変えられた前記光源からの平行光束の光束径を変化させ得るビーム形状補正機能を持つ単レンズと、この単レンズからの出射光束を集光させ得る集光レンズとから構成され、さらに、前記単レンズの光源側の面と像側の面が、前記 $\parallel$ 断面にだけ曲率を持つシリンダー面であって、且つ、前記光源側のシリンダー面および前記像側のシリンダー面がいずれも前記光源側に凹面を向けた面としてそれぞれ形成され、しかも、これらの両面が前記 $\parallel$ 断面において $f_{\perp} / f_{\parallel}$  倍のビーム形状補正機能を果し得る曲率半径を持ち、

【0014】

$$0.15 < R_{2\parallel} / (n^3 \cdot R_{1\parallel}) < 2.5$$

但し、 $n$  : 前記単レンズの屈折率

$R_{1\parallel}$  : 前記単レンズの $\parallel$ 断面における光源側のシリン

$$\eta = \frac{4\omega^2 \cdot \omega_{\parallel} \cdot \omega_{\perp}}{(\omega^2 + \omega_{\parallel}^2)(\omega^2 + \omega_{\perp}^2)} \quad \dots (1)$$

但し、 $\eta$  : 光結合効率 ( $0 \leq \eta \leq 1$ )

$\omega$  : シングルモード光ファイバー導波モードのビームスポット径

$\omega_{\parallel}$  : 水平断面 $\parallel$ の集光ビームスポット径

$\omega_{\perp}$  : 垂直断面 $\perp$ の集光ビームスポット径

【0016】ここで、 $\omega_{\parallel}$ と $\omega_{\perp}$ のどちらか一方が $\omega$ と一致しており、他方が $\omega$ の $k$ 倍である状態を考える。例えば、 $\omega_{\perp} = \omega$ 、 $\omega_{\parallel} = k \cdot \omega$ 、として(1)式に代入し、整理すると(2)式が得られる。

$$k^2 - (2/\eta)k + 1 = 0 \quad \dots (2)$$

但し、 $k$  :  $\omega$ の倍率

【0017】この(2)式により、一定以上の光結合効率を得るために必要な $k$ の範囲を算出することができる。但し、この(2)式は、あくまで理想的な状態下におけるものである。そこで、実際に実現可能な光学系を得るときに考慮しなければならない各収差や組立て時のアライメント誤差等の光結合効率 $\eta$ を低下させる要因を予測する中でこの(2)式を修正して一定以上の光結合効率 $\eta$ を得るために必要な $k$ 値の範囲を算出する。

【0018】この算出の結果、実際に実現可能な光学系での光結合効率 $\eta$ は、理想的な状態下における光結合効率 $\eta$ の80%以上( $\eta \geq 0.8$ )とすることが望ましいから、このような考慮の下に、 $\eta \geq 0.8$ を満足する $k$ 値の範囲を算出すると、(2)式における $k$ 値の範囲は、

$$0.5 \leq k \leq 2.0$$

となる。

【0019】一方、光源から出射される放射光束の波長を $\lambda$ 、光源光から放射光束を平行光束に変えるコリメー

ター面の曲率半径

$R_{2\parallel}$  : 前記単レンズの $\parallel$ 断面における像側のシリンダー面の曲率半径

なる条件式を満足するように構成されて成ることを特徴とするものである。上記の目的を達成するための他の発明の構成については、以下実施例の項において、明らかにする。

【0015】

【作用】このように構成されたビーム形状補正光学系は、次のような作用を果す。非等方な放射角を持つ光源からの光束と光ファイバーとの光結合においては、光軸回転対称形の光学系を用いた場合、光ファイバーに入射する集光ビームスポットが楕円形断面のような非円形の断面を持ち、これが、非等方な放射角を持つ光源と光ファイバーとの光結合効率の低下を招くことになる。このときの光結合効率の低下現象を、シングルモード光ファイバーを用いた例で見積もると(1)式で表すことができる。

タレンズの焦点距離を $f_c$ 、また、水平断面 $\parallel$ 上に形成される光結合光学系の焦点距離を $f_{\parallel}$ 、さらに、垂直断面 $\perp$ 上に形成される光結合光学系の焦点距離を $f_{\perp}$ 、光源の水平断面 $\parallel$ における放射角の半値全角を $\theta_{\parallel}$ 、光源の垂直断面 $\perp$ における放射角の半値全角を $\theta_{\perp}$ とすると、光結合光学系の倍率の絶対値は、水平断面 $\parallel$ において $|f_{\parallel}| / |f_c|$ 、垂直断面 $\perp$ において $|f_{\perp}| / |f_c|$ となる。

【0020】また、光源のビーム特性がガウスビームで近似できる場合には、放射角において強度が $1/c^2$ での全角を $1.7\theta_{\parallel}/1.7\theta_{\perp}$ で表すことが可能になるから、光源のビームウエスト径は、水平断面 $\parallel$ において $\lambda / \pi \sin(0.85\theta_{\parallel})$ となり、また、垂直断面 $\perp$ において $\lambda / \pi \sin(0.85\theta_{\perp})$ となる。従って、これらの値に光結合光学系の倍率を乗じれば、集光ビームスポットのビームウエスト径 $\omega_{\parallel}$ 、 $\omega_{\perp}$ を、

【0021】

$$\omega_{\parallel} = \frac{|f_{\parallel}| \pi}{|f_c| \pi \sin(0.85\theta_{\parallel})}$$

$$\omega_{\perp} = \frac{|f_{\perp}| \pi}{|f_c| \pi \sin(0.85\theta_{\perp})}$$

として算出することができる。

【0022】ここで、 $\omega_{\parallel} = \omega$ とすると、 $k = \omega_{\perp} / \omega = \omega_{\perp} / \omega_{\parallel}$ より、



11

$$k = \frac{|f_{\perp}| \sin(0.85\theta_{//})}{|f_{//}| \sin(0.85\theta_{\perp})}$$

が得られる。

【0023】この結果に基づいて、実際に実現可能な光

$$0.5 \leq \frac{|f_{\perp}| \sin(0.85\theta_{//})}{|f_{//}| \sin(0.85\theta_{\perp})} \leq 2.0 \quad \dots (3)$$

但し、 $\theta_{//}$ : 前記光源の水平断面//における放射角の半値全角

$\theta_{\perp}$ : 前記光源の垂直断面⊥における放射角の半値全角

となる。

【0024】本発明に係るビーム形状補正光学系は、この(3)式を満たすような基本構成を持つ単レンズである。そして、本発明では、非等方な放射角を持つ光源から放射され且つ光軸回転対称形のコリメータレンズにより非円形断面(例えば略楕円形状断面)の平行光束に変えられた光束を、この単レンズの持つビーム形状補正作用を利用して、略円形断面の平行光束に変化させて、この略円形断面の平行光束を集光レンズにより、光結合対象物に集光ビームスポット像として結像させるか、或いは、コリメータレンズにより平行光束に変えられた光束を、単レンズの持つビーム形状補正作用を利用しながら且つ予め単レンズに付与した集光作用を利用して、略円形断面を持つ収束光束に変化させて、集光レンズを用いずに、光結合対象物に集光ビームスポット像として結像させる。

【0025】例えば、コリメータレンズにより略楕円形状断面の平行光束に変えられた光束を略円形断面の平行光束に変化させるケースを代表例にして、ビーム形状補正光学系のより詳細を説明すると、非等方な放射角を持つ光源と光ファイバーとの光結合の際に、非等方な放射角を持つ光源からの放射光束を、光軸回転対称形のコリメータレンズにより、先ず非円形断面(例えば略楕円形状断面)を持つ平行光束に変える。

【0026】この平行光束を(3)式を満たす構成の単レンズのビーム形状補正作用により略円形断面の平行光束に変化させ、さらに、光軸回転対称形の集光レンズを用いて、この略円形断面の平行光束を集光レンズの像面(例えば光ファイバーの入射端面)に集光ビームスポットとして集光させる。この結果、非等方な放射角を持つ光源側の光学系(ビーム形状補正光学系)の導波モードと光ファイバーの導波モードとのモードミスマッチは低減されることになり、高効率の光結合効率が実現されることになる。

【0027】

【実施例】先ず、具体的な実施例の説明に先立って本発明の根幹となる考え方について説明する。この説明においては、互いに光結合を行う光結合光学系と光ファイバ

12

光学系での光結合効率 $\eta$ を、理想的な状態下における光結合効率 $\eta$ の80%以上に設定するための条件を求めれば、

一との光軸を含み且つ互いに直交する2つの断面、例えば水平断面//と垂直断面⊥とを断面例として説明する。

【0028】但し、ここで水平断面および垂直断面とは、地球上の重力方向とは関係のないもので、非等方な放射角を持つ光源の放射角の大きい方を垂直断面とし、これを⊥断面と表現することとし、放射角の小さい方を水平断面とし、これを//断面と表現することとしたものであって、放射角の大小によって逆の関係で表わしてもよい。

【0029】先に述べたように、光ファイバーとの光結合において光ファイバーに入射する集光ビームスポットが楕円形断面のような非円形の断面を持つ場合には、光結合効率の低下を招くことになる。この場合、シングルモード光ファイバーを用いた例における光結合効率を見積もると(1)式で表すことができる。

【0030】

$$\eta = \frac{4\omega^2 \cdot \omega_{//} \cdot \omega_{\perp}}{(\omega^2 + \omega_{//}^2)(\omega^2 + \omega_{\perp}^2)} \quad \dots (1)$$

但し、 $\eta$ : 光結合効率 ( $0 \leq \eta \leq 1$ )

$\omega$ : シングルモード光ファイバー導波モードのビームスポット径

$\omega_{//}$ : 水平断面//の集光ビームスポット径

$\omega_{\perp}$ : 垂直断面⊥の集光ビームスポット径

【0031】ここで、 $\omega_{//}$ または $\omega_{\perp}$ のいずれか一方が $\omega$ と一致し且ついずれか他方が $\omega$ の $k$ 倍であるような状態を想定して(1)式を整理してみる。例えば $\omega_{\perp} = \omega$ 、 $\omega_{//} = k\omega$ として(1)式に代入して式を整理すると(2)式が得られる。

$$k^2 - (2/\eta) \cdot k + 1 = 0 \quad \dots (2)$$

【0032】そして、この(2)式より、一定以上の光結合効率 $\eta$ を得るために必要な $k$ 値の範囲を算出することができるが、これはあくまで理想的な状態下で算出し得るものである。しかし、実際に実現可能な光学系では、各収差や組立て時のアライメント誤差(光学系としての整列誤差)などの光結合効率 $\eta$ を低下させる要因が発生するから、実際に実現可能な光学系での光結合効率 $\eta$ を考えるとときには、このことを考慮して、理想的な状態下における光結合効率 $\eta$ の80%以上( $\eta \geq 0.8$ )を設定する必要がある。従って、このような考慮の下に、(2)式より $\eta \geq 0.8$ を満足する $k$ 値の範囲を算出すると、

$$0.5 \leq k \leq 2.0$$

となる。

【0033】一方、光源から出射される放射光束の波長を $\lambda$ 、光源からの放射光束を平行光束に変えるコリメータレンズの焦点距離を $f_c$ 、また、水平断面//における光結合集光光学系の焦点距離を $f_{//}$ 、さらに、垂直断面⊥における光結合集光光学系の焦点距離を $f_{\perp}$ 、光源の水平断面//における放射角の半値全角を $\theta_{//}$ 、光源の垂直断面⊥における放射角の半値全角を $\theta_{\perp}$ とすると、光結合集光光学系の倍率の絶対値は、水平断面//において $|f_{//}|/|f_c|$ 、垂直断面⊥において $|f_{\perp}|/|f_c|$ となる。

【0034】ここで、光源のビーム（光束）特性がガウスビームで近似できる場合、放射角において強度が $1/c^2$ での全角を $1.7\theta_{//}$ 、 $1.7\theta_{\perp}$ で表すことが可能になるから、これに従うと、光源のビームウエスト径は、水平断面//において $\lambda/\pi \sin(0.85\theta_{//})$ となり、垂直断面⊥において $\lambda/\pi \sin(0.85\theta_{\perp})$ となる。従って、このこれらの値に前述した光結合集光光学系の倍率を乗じれば集光ビームスポットのビームウエスト径 $\omega_{//}$ 、 $\omega_{\perp}$ を算出することができる。

$$0.5 \leq \frac{|f_{\perp}| \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} \leq 2.0 \quad \dots (3)$$

なる条件式を満たす必要のあることを意味する。

【0038】そのため、本発明のビーム形状補正光学系においては、この(3)式を満たすことが最低の条件となる。なお、これは、 $\omega_{\perp} = \omega$ 、 $k = \omega_{//} / \omega = \omega_{//} / \omega_{\perp}$ とした場合でも同様の結果となる。

【0039】すなわち、この条件は、非等方な放射角を持つ光源からの光束が、互いに光軸を含み且つ互いに直交する2つの断面をそれぞれ進行するときに、小さい放射角に係る光束の光束径を大きくすることによって、小さい放射角に係る光束の光束径と大きい放射角に係る光束の光束径とを実質的に同径にするように構成した場合にも、大きい放射角に係る光束の光束径を小さくすることによって、両方の光束に係る光束径を実質的に同径にするように構成した場合にも適用し得る条件である。

【0040】勿論、小さい放射角に係る光束の光束径を大きくしながら大きい放射角に係る光束の光束径を小さくするようにして、両方の光束に係る光束径を実質的に同径にするように構成した場合にも適用し得る。このような基本的な考え方を踏まえた上で、本発明に係るビーム形状補正光学系の実施例（以下「具体例」という）の構成および作用を、複数の基本光学系構成毎に且つ複数のタイプ別に説明する。

【0041】なお、以下の説明においては、互いにビーム形状補正光学系の光軸Pを含み且つ互いに直交する2つの断面として例えば水平断面//と垂直断面⊥を選定し、これに従って説明するが、これらの符号//、⊥は、特許請求の範囲に用いられている記号//、⊥を含みはす

【0035】すなわち、

$$\omega_{//} = \frac{|f_{//}| \pi}{|f_c| \pi \sin(0.85\theta_{//})}$$

$$\omega_{\perp} = \frac{|f_{\perp}| \pi}{|f_c| \pi \sin(0.85\theta_{\perp})}$$

【0036】ここで、 $\omega_{//} = \omega$ とすると、 $k = \omega_{\perp} / \omega = \omega_{\perp} / \omega_{//}$ より、

$$k = \frac{|f_{\perp}| \sin(0.85\theta_{//})}{|f_{//}| \sin(0.85\theta_{\perp})}$$

となる。

【0037】このことは、実際に実現可能な光学系での光結合効率 $\eta$ を、理想的な状態下における光結合効率 $\eta$ の80%以上に設定するには、

るが、必ずしも、特許請求の範囲に用いられた記号//、⊥と同一概念であることを意味するものではないから、念のためこのことを付記する。

【0042】図1および図2は、本発明のビーム形状補正光学系に係る基本光学系の一構成例を示すもので、このうち、図1は、この一例における水平断面//での光学系構成と水平断面//での光束の進行状態を示す光路図、図2は、この1例における垂直断面⊥での光学系構成と垂直断面⊥での光束の進行状態を示す光路図である。この図1および図2に示される基本光学系は、後述する第1～第4タイプに使用される光学系であり、コリメータレンズ3により平行光束に変えられた光源1からの放射光束2、2'の内、

【0043】(イ) 小さい放射角に係る平行光束（水平断面//における平行光束）の光束径を大きくすること（水平断面//での拡大的なビーム形状補正作用）、

(ロ) または、大きい放射角に係る平行光束（垂直断面⊥における平行光束）の光束径を小さくすること（垂直断面⊥での縮小的なビーム形状補正作用）こと、により、ビーム形状補正レンズ4を出射した段階における一方の平行光束の光束径を、他方の平行光束の光束径に実質的に一致させて略円形断面の平行光束となし、この略円形断面の平行光束を集光レンズ5によって、光結合対象である光ファイバーFの入射端面上に実質的な円形断面のビームスポット像として集光させるようにしている。

【0044】図1および図2において、1は、例えば発振波長980nmの半導体レーザー（以下、単に「光

源」という)である。この光源 1 は、例えば図 1 に示すように、その水平断面//において最小の放射角を持ち、また、「水平断面//から垂直断面⊥の方向に向って変化する各断面」においては、水平断面//から垂直断面⊥の方向に向につれて放射角が大きくなり、さらに、図 2 に示すように、垂直断面⊥において最大の放射角を有するような非等方な放射角の放射光束 2、2' を出射する光源として構成されている。

【0045】3はこの光源 1 からの非等方な放射光束 2、2' をそれぞれの断面において平行光束に変えるためのコリメータレンズであり、自身の方焦点位置を光源 1 の光束出射面に一致させるような状態で光軸 P 上に配置されている。このコリメータレンズ 3 は、例えば両凸形の単レンズまたは光源 1 に凹面或いは凸面を向けたメニスカス形の光軸回転対称形の単レンズまたは接合レンズから成る所要の焦点距離を有するレンズとして構成されている。

【0046】そのため、光源 1 からの非等方な放射光束 2、2' は、このコリメータレンズ 3 を経た段階で、図 1 に示すように、水平断面//において光軸 P からの高さが最も低く、水平断面//から垂直断面⊥の方向に変わるとつれてそれぞれの断面での光軸 P からの高さが高くなり、垂直断面⊥において光軸 P からの高さが最も高くなるような略楕円形断面の平行光束に変えられることになる。

【0047】4 は本発明の特徴部分をなすビーム形状補正機能具えた単レンズ（以下、「ビーム形状補正レンズ」という）であり、コリメータレンズ 3 の後方光軸 P 上に配置されている。このビーム形状補正レンズ 4 は、その水平断面//または垂直断面⊥のいずれか一方の断面における光源側に向いた面（以下、「光源側面」という）と像側に向いた面（以下、「像側面」という）とが、いずれもシリンドー面として形成され、他方の断面における光源側面と像側面とがいずれも平面として形成された単レンズとして構成されている。

【0048】そして、これら光源側面または像側面に形成されたシリンドー面と平面の協働作用により、コリメータレンズ 3 により略楕円形断面の平行光束に変えられた放射光束 2、2' の水平断面//または//および垂直断面⊥における光束径を、前述した水平断面//での拡大的なビーム形状補正作用または垂直断面⊥での縮小的なビーム形状補正作用を創り出すように構成されている。5 は自身の結像点を前述の光ファイバー F の入射端面上に一致させるような状態でビーム形状補正レンズ 4 の後方光軸 P 上に配置された集光レンズである。

【0049】この集光レンズ 5 は、前述したように、ビーム形状補正レンズ 4 から出射された略円形断面の平行光束を、光ファイバー F の入射端面上に実質的な円形断面のビームスポット像として集光させる役割を果たすものであり、コリメータレンズ 3 の場合と同様に、例えば両

凸形の単レンズまたは光源 1 に凹面或いは凸面を向けたメニスカス形の光軸回転対称形の単レンズまたは接合レンズから成る所要の焦点距離を有するレンズとして構成されている。

【0050】次に、ビーム形状補正レンズ 4 の具体的な構成タイプおよび詳細データについて、それぞれの具体例をタイプ別に説明することにする。図 5～図 10 に示すのは、いずれも第 1 タイプの実施例 1～3 に係るビーム形状補正レンズ 4 であって、特許請求の範囲の請求項 2 に属するものである。

【0051】この第 1 タイプでは、コリメータレンズ 3 を経た段階で非円形断面（例えば略楕円形断面）になっている光源 1 からの平行光束の内、水平断面//における小さい放射角に係る平行光束、並びに、「水平断面//から垂直断面⊥の方向に向って変化する各断面」における各々の放射角に係る平行光束（以下、「小さい放射角を含む各放射角に係る平行光束」という）のそれぞれの光束径を、水平断面//における光源側の面  $R_{1//}$  と像側の面  $R_{2//}$  で創られた水平断面//での拡大的なビーム形状補正作用により、垂直断面⊥における大きな放射角に係る太い平行光束の光束径に略一致させて、各光束がビーム形状補正レンズ 4 を通過する間に実質的に円形断面の平行光束を得るようにしている。

【0052】そして、この目的を達するために、第 1 タイプでは、ビーム形状補正レンズ 4 を、その水平断面//における光源側の面  $R_{1//}$  と像側の面  $R_{2//}$  にだけ曲率を持つ単レンズとして構成すると共に、光源側の面  $R_{1//}$  および像側の面  $R_{2//}$  をいずれも光源側に凹面を向けたシリンドー面として形成し、さらに、垂直断面⊥における光源側の面  $R_{1\perp}$  と像側の面  $R_{2\perp}$  を、いずれも平面として形成するようにしている。

【0053】加えて、この第 1 タイプのビーム形状補正レンズ 4 では、前述した (3) 式を満たした上で、(a)

集光スポット形成光学系（すなわち、ビーム形状補正レンズ 4 + 集光レンズ 5）の//断面および⊥断面での焦点距離を  $f_{//}$  および  $f_{\perp}$  としたときに、前述した両方のシリンドー面  $R_{1//}$ 、 $R_{2//}$  を、それぞれ、水平断面//において  $f_{\perp} / f_{//}$  倍のビーム形状補正レンズとして作用し得る曲率半径を持つシリンドー面として形成し、

【0054】(b) ビーム形状補正レンズ 4 に使用される光学材料の屈折率を  $n$  としたときに、

$$0.15 < R_{2//} / (n^3 \cdot R_{1//}) < 2.5$$

なる条件式をも満たすように構成されている。

【0055】この場合、条件式の上限を超えると、光源側のシリンドー面の曲率半径  $R_{1//}$  が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じる。なお、レンズの軸上厚（肉厚）を増加させれば曲率半径  $R_{1//}$  を大きくすることができるが、このように構成したときには、ビーム形状補正光学系全体のコンパクト性を欠くことになるので、このような対策は好ましくない。また、条件式

の下限を超える状態のときには、光源 1 からの放射光束 2、2' の放射角がほぼ等方的な状態であることを意味するから、条件式の下限を超えると本発明の適用が無意味になってしまうという問題を生じる。

【0056】以下、第 1 タイプの実施例 1～3 に係るビーム形状補正レンズ 4 の具体的な光学的データを表 1～表 3 に掲載する。なお、表 1 のデータは、図 5、図 6 に

示すビーム形状補正レンズ 4 に、また、表 2 のデータは、図 7、図 8 に示すビーム形状補正レンズ 4 に、さらに、表 3 のデータは、図 9、図 10 に示すビーム形状補正レンズ 4 にそれぞれ対応する。

【0057】

【表 1】

実施例 1

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -1.5 & R_{1\perp} &= \infty \\ R_{2//} &= -3.0 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 3.0 & n &= 2.0\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.67$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = 0.25$$

【0058】

【表 2】

実施例 2

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 10.1490 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -0.55 & R_{1\perp} &= \infty \\ R_{2//} &= -1.65 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 3.3 & n &= 1.5\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = 0.89$$

【0059】

【表 3】

## 実施例 3

$$\begin{aligned} \theta_{//} &= 10.149 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -0.26667 & R_{1\perp} &= \infty \\ R_{2//} &= -1.60 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 4.0 & n &= 1.5 \end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.50$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = 1.78$$

この結果、第1タイプでは、ビーム形状補正レンズ4から出射する平行光束が太い略円形断面の平行光束となり、この平行光束が、図1に示すように集光レンズ5により実質的な円形ビームスポットとして光ファイバーの入射端面上に集光することになる。図11～図16に示すのは、いずれも第2タイプの実施例4～6に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項3に属するものである。

【0060】この第2タイプでは、第1タイプの構成とは異なり、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束の内、垂直断面 $\perp$ における大きい放射角に係る平行光束、並びに、「垂直断面 $\perp$ から水平断面 $//$ の方向に向かって変化する各断面」における各々の放射角に係る平行光束（以下、「大きい放射角を含む各放射角に係る平行光束」という）のそれぞれの光束径を、垂直断面 $\perp$ における光源側の面 $R_{1\perp}$ と像側の面 $R_{2\perp}$ で創られた垂直断面 $\perp$ での縮小的なビーム形状補正作用により、水平断面 $//$ における小さい放射角に係る細い平行光束の光束径に略一致させて、各光束がビーム形状補正レンズ4を通過する間に実質的に円形断面の平行光束を得るようにしている。

【0061】そして、この目的を達するために、第2タイプでは、ビーム形状補正レンズ4を、その垂直断面 $\perp$ における光源側の面 $R_{1\perp}$ と像側の面 $R_{2\perp}$ にだけ曲率を持つ単レンズとして構成すると共に、光源側の面 $R_{1\perp}$ および像側の面 $R_{2\perp}$ をいずれも光源側に凸面を向けたシリンダー面として形成し、さらに、第1タイプとは逆に、水平断面 $//$ における光源側の面 $R_{1//}$ と像側の面 $R_{2//}$ をいずれも平面として形成するようにしている。

【0062】加えて、この第2タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たした上で、(c)

集光スポット形成光学系（すなわち、ビーム形状補正レンズ4+集光レンズ5）の $//$ 断面および $\perp$ 断面での焦点距離を $f_{//}$ および $f_{\perp}$ としたときに、前述した両方のシリンダー面 $R_{1\perp}$ 、 $R_{2\perp}$ を、それぞれ、垂直断面 $\perp$ において $f_{//}/f_{\perp}$ 倍のビーム形状補正レンズとして作用し得る曲率半径を持つシリンダー面として形成し、

(d) ビーム形状補正レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ としたときに、

$$0.15 < R_{1\perp} / (n^3 \cdot R_{2\perp}) < 2.5$$

なる条件式をも満たすように構成されている。

【0063】この場合、条件式の上限を超えると、像側シリンダー面の曲率半径 $R_{2\perp}$ が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じる。なお、レンズの軸上厚（肉厚）を増加させれば曲率半径 $R_{2\perp}$ を大きくすることができ、このように構成したときにはビーム形状補正光学系全体のコンパクト性を欠くことになるので、第1タイプの場合と同様にこのような対策は好ましくない。また、条件式の下限を超える状態のときには、光源1からの放射光束2、2'の放射角がほぼ等方的な状態であることを意味するから、条件式の下限を超えると、第1タイプのときと同様に本発明の適用が無意味になってしまうという問題を生じる。

【0064】以下、第2タイプの実施例4～6に係るビーム形状補正レンズ4の具体的な光学的データを表4～表6に掲載する。なお、表4のデータは、図11、図12に示すビーム形状補正レンズ4に、また、表5のデータは、図13、図14に示すビーム形状補正レンズ4に、さらに、表6のデータは、図15、図16に示すビーム形状補正レンズ4にそれぞれ対応する。

【0065】

【表4】

## 実施例 4

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 10.1490 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 1.54412 \\ R_{2//} = \infty & R_{2\perp} = 0.51471 \\ t = 2.5 & n = 1.7 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = 0.61$$

【0066】

【表 5】

## 実施例 5

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 13.5730 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 1.28676 \\ R_{2//} = \infty & R_{2\perp} = 0.25735 \\ t = 2.5 & n = 1.7 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.67$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = 1.02$$

【0067】

30 【表 6】

## 実施例 6

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 8.1080 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 2.10938 \\ R_{2//} = \infty & R_{2\perp} = 0.23438 \\ t = 5.0 & n = 1.6 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.8$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = 2.20$$

この結果、第2タイプでは、ビーム形状補正レンズ4から出射する平行光束が細い略円形断面の平行光束となり、この平行光束が、集光レンズ5により実質的な円形ビームスポットとして光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。図17～図22に示すのは、いずれも第3タイプの実施例7～8に係るビーム形状補正レン

ズ4であって、特許請求の範囲の請求項4に属するものである。

【0068】この第3タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束の内、前述した小さい放射角を含む各放射角に係る平行光束のそれぞれの光束径を、第1タイプ

の場合と同様に水平断面//での拡大的なビーム形状補正作用により、垂直断面⊥における大きな放射角に係る太い平行光束の光束径に略一致させて、各光束がビーム形状補正レンズ4を通過する間に実質的に円形断面の平行光束を得るようにしている。

【0069】そして、この目的を達するために、第3タイプでは、ビーム形状補正レンズ4を、水平断面//における光源側の面 $R_{1//}$ と像側の面 $R_{2//}$ にだけ曲率を持つ単レンズとして構成すると共に、光源側の面 $R_{1//}$ を光源側に凸面を向けたシリンドラ面として、且つ、像側の面 $R_{2//}$ を光源側に凹面を向けたシリンドラ面として形成し、さらに、垂直断面⊥における光源側の面 $R_{1\perp}$ と像側の面 $R_{2\perp}$ をいずれも平面として形成するようにしている。なお、この光源側の面 $R_{1//}$ を、光源側に凸面を向けたシリンドラ面として形成した点が、第3タイプと第1タイプとの差となる。

【0070】加えて、この第3タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たした上で、(e)集光スポット形成光学系(すなわち、ビーム形状補正レンズ4+集光レンズ5)の//断面および⊥断面での焦点距離を $f_{//}$ および $f_{\perp}$ としたときに、前述した両方のシリンドラ面 $R_{1//}$ 、面 $R_{2//}$ を、それぞれ、水平断面//において $f_{\perp}/f_{//}$ 倍のビーム形状補正レンズとして作用し得る曲率半径を持つシリンドラ面として形成し、(f)ビーム形状補正レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ としたときに、

$$-2.5 < R_{2//} / (n^3 \cdot R_{1//}) < -0.18$$

なる条件式をも満たすように構成されている。

【0071】この場合、条件式の上限を超える状態のときには、光源1からの放射光束2、2'の放射角がほぼ等方的な状態であることを意味するから、条件式の上限を超えると、第1および第2タイプの場合と同様に本発明の適用が無意味になってしまうという問題を生じる。

【0072】一方、条件式の下限を超えると、光源側シリンドラ面の曲率半径 $R_{1//}$ が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じる。なお、レンズの軸上厚(肉厚)を増加させれば曲率半径 $R_{1//}$ を大きくすることができ、このように構成したときにはビーム形状補正光学系全体のコンパクト性を欠くことになるので、第1および第2タイプの場合と同様にこのような対策は好ましくない。

【0073】以下、第3タイプの実施例7～9に係るビーム形状補正レンズ4の具体的な光学的データを表7～表9に掲載する。なお、表7のデータは、図17、図18に示すビーム形状補正レンズ4に、また、表8のデータは図19、図20に示すビーム形状補正レンズ4に、さらに、表9のデータは図21、図22に示すビーム形状補正レンズ4にそれぞれ対応する。

【0074】

【表7】

実施例7

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 13.5730 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = 0.375 & R_{1\perp} = \infty \\ R_{2//} = -1.125 & R_{2\perp} = \infty \\ t = 3.0 & n = 2.0 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.0$$

$$R_{2//} / (n^3 \cdot R_{1//}) = -0.375$$

【0075】

【表8】

## 実施例 8

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= 0.21290 & R_{1\perp} &= \infty \\ R_{2//} &= -0.85161 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 3.0 & n &= 1.55\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.33$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = -1.07$$

【0076】

【表 9】

## 実施例 9

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 8.108 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= 0.125 & R_{1\perp} &= \infty \\ R_{2//} &= -1.0 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 3.0 & n &= 1.6\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.6$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = -1.95$$

この結果、第3タイプでは、第1タイプのときと同様に、ビーム形状補正レンズ4から出射する平行光束が太い略円形断面の平行光束となり、この平行光束が、集光レンズ5により実質的な円形ビームスポットとして光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。

【0077】図23～図28に示すのは、いずれも第4タイプの実施例10～12に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項5に属するものである。この第4タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束の内、前述した大きい放射角を含む各放射角に係る平行光束のそれぞれの光束径を、第2タイプの場合と同様に垂直断面 $\perp$ での縮小的なビーム形状補正作用により、水平断面 $//$ における小さい放射角に係る細い平行光束の光束径に略一致させて、各光束がビーム形状補正レンズ4を通過する間に実質的に円形断面の平行光束を得るようにしている。

【0078】そして、この目的を達するために、第4タイプでは、ビーム形状補正レンズ4を、その垂直断面 $\perp$ における光源側の面 $R_{1\perp}$ と像側の面 $R_{2\perp}$ にだけ曲率を持つ単レンズとして構成すると共に、光源側の面 $R_{1\perp}$

30 を光源側に凸面を向けたシリンダー面として、且つ、像側の面 $R_{2\perp}$ を光源側に凹面を向けたシリンダー面として形成し、さらに、垂直断面 $\perp$ における光源側の面 $R_{1\perp}$ と像側の面 $R_{2//}$ をいずれも平面として形成している。なお、像側の面 $R_{2\perp}$ を光源側に凹面を向けたシリンダー面として形成した点がこの第4タイプと第2タイプとの差となる。

【0079】加えて、この第4タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たした上で、(g) 集光スポット形成光学系(すなわち、ビーム形状補正レンズ4+集光レンズ5)の $//$ 断面および $\perp$ 断面での焦点距離を $f_{//}$ および $f_{\perp}$ としたときに、前述した両方のシリンダー面 $R_{1\perp}$ 、 $R_{2\perp}$ を、それぞれ、垂直断面 $\perp$ において $f_{//}/f_{\perp}$ 倍のビーム形状補正レンズとして作用し得る曲率半径を持つシリンダー面として形成し、

(h) ビーム形状補正レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ としたときに、

$$-2.5 < R_{1\perp} / (n^3 \cdot R_{2\perp}) < -0.18$$

なる条件式をも満たすように構成されている。

【0080】この場合、条件式の上限を超える状態のときに、光源1からの放射光束2、2'の放射角がほぼ



等方的な状態であることを意味するから、条件式の上限を超えると、第1～第3タイプのと看と同様に本発明の適用が無意味になってしまうという問題を生じる。

【0081】一方、条件式の下限を超えると、光源側シリンドラ面の曲率半径 $R_{1\perp}$ が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じる。なお、レンズの軸上厚（肉厚）を増加させれば曲率半径 $R_{1\perp}$ を大きくすることができが、このように構成したときには、第1～第3タイプの場合と同様に、ビーム形状補正光学系全体のコンパクト性を欠くことになるのでこのような対策は好ましくない。

【0082】以下、第4タイプに係るビーム形状補正レンズ4の実施例10～12の具体的な光学的データを表10～表12に掲載する。なお、表10のデータは、図23、図24に示すビーム形状補正レンズ4に、また、表11のデータは、図25、図26に示すビーム形状補正レンズ4に、さらに、表12のデータは、図27、図28に示すビーム形状補正レンズ4にそれぞれ対応する。

【0083】

10 【表10】

実施例10

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 13.5730 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 1.0 \\ R_{2//} = \infty & R_{2\perp} = -0.33333 \\ t = 3.0 & n = 1.8 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = -0.51$$

【0084】

【表11】

実施例11

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 8.1080 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 2.17284 \\ R_{2//} = \infty & R_{2\perp} = -0.27160 \\ t = 5.5 & n = 1.8 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.60$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = -1.37$$

【0085】

【表12】

## 実施例12

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 8.1080 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 1.89247 \\ R_{2//} = \infty & R_{2\perp} = -0.23656 \\ t = 6.0 & n = 1.55 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.60$$

$$R_2 / (n^3 \cdot R_1) = -2.15$$

この結果、第4タイプでは、第2タイプのときと同様に、ビーム形状補正レンズ4から出射する平行光束が細い略円形断面の平行光束となり、この平行光束が、集光レンズ5により実質的な円形ビームスポットとして光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。

【0086】ところで、図3および図4に示すのは、本発明のビーム形状補正光学系に係る基本光学系の他の構成例を示すもので、第5タイプ以降の各タイプに使用される基本光学系である。そして、図3は、この他の構成例における水平断面//での光学系構成と水平断面//での光束の進行状態を示す光路図、図4は、この他の構成例における垂直断面⊥での光学系構成と垂直断面⊥での光束の進行状態を示す光路図である。この図3、図4に示す基本光学系では、ビーム形状補正レンズ4に集光レンズの持つ集光作用を付与するように構成して集光レンズを不要にしたことが特徴となっている。

【0087】すなわち、図3、図4に示す基本光学系では、コリメータレンズ3から出射された非円形断面の平行光束を、前述した垂直断面⊥での縮小的なビーム形状補正作用または、および前述した水平断面//での拡大的なビーム形状補正作用と、後述する種々の集光作用とを利用して、ビーム形状補正レンズ4を出射した段階における一方の断面（例えば垂直断面⊥）の収束光束の光束径と他方の断面（例えば水平断面//）の収束光束の光束径とを実質的に一致させながら、略円形断面の円錐形状光束を削り、これを、直接光ファイバーFの入射端面上に集光ビームスポット像として集光（収斂）させるようにしている。

【0088】以下、図3、図4に示す基本光学系におけるビーム形状補正レンズ4の具体的な構成タイプおよび詳細データについて、それぞれの具体例をタイプ別に説明する。図29～図34に示すのは、いずれも第5タイプの実施例13～15に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項6に属するものである。そして、この第5タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1

からの平行光束2、2'を、

【0089】（ハ） 先ず、水平断面//における平行光束については、ビーム形状補正レンズ4に入射したときの光束径のまま同レンズ4内を進行させて像側の面に至らせ、また、垂直断面⊥における光束については、光源側の面に形成したシリンダー面による垂直断面⊥での縮小的なビーム形状補正作用を利用することにより、同レンズ4内を進行する間に垂直断面⊥において光束径を少し縮小させて、それぞれの光束に係る光束径が同レンズ4の像側の面において略一致するようにし、

【0090】（ニ） さらに、光束径の略一致したそれぞれの光束が同レンズ4から出射する段階で、水平断面//と垂直断面⊥とで屈折力が異なる像側の面に形成したトロイダル面での屈折作用により、それぞれの出射光束を光ファイバーFの入射端面向う収束光束に変える、

という総合作用（合合作用）を削り出し、この総合作用をもって、同レンズ4を出射した段階における水平断面//での収束光束の光束径と垂直断面⊥での収束光束の光束径とを実質的に一致させながら略円形断面の円錐形状光束を削り、これにより、略円形断面の円錐形状光束を直接光ファイバーFの入射端面上に集光ビームスポット像として集光させるようにしている。

【0091】そして、この目的を達するために、第5タイプでは、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面を、水平断面//における面R<sub>1//</sub>は平面に且つ垂直断面⊥における面R<sub>1⊥</sub>は光源側に凸面を向けたシリンダー面にそれぞれ形成している。さらに、その像側の面を、水平断面//における面R<sub>2//</sub>は、光源側に凹面を向けたトロイダル面に且つ垂直断面⊥における面R<sub>2⊥</sub>は、光源側に凸面を向けたトロイダル面にそれぞれ形成している。

【0092】加えて、この第5タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率をnとし、同レンズ4の軸上肉厚をtとしたときに、

$$-0.95 \leq \{n \cdot R_{1\perp} - (n-1)t\} / (n \cdot R_{2//}) \leq -0.25$$

なる条件式をも満すように構成されている。

【0093】この場合、条件式の上限を超えると、垂直断面 $\perp$ における光源側シリンダ面の曲率半径 $R_{1\perp}$ が小さくなり加工が困難になるという問題を生じ、また、条件式の下限を超えると、軸外において良好な性能を保持することが困難になるという問題を生じる。以下、第5タイプに係るビーム形状補正レンズ4の具体的な光学

的データを表13～表15に掲載する。なお、表13のデータは、図29、図30に示す同レンズ4に、また、表14のデータは図31、図32に示す同レンズ4に、さらに、表15のデータは、図33、図34に示す同レンズ4にそれぞれ対応する。

【0094】

【表13】

実施例13

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 10.1490 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 0.960 \\ R_{2//} = -0.8 & R_{2\perp} = 0.53333 \\ t = 1.44 & n = 1.80 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$\frac{n R_{1\perp} - (n-1) t}{n \cdot R_{2//}} = -0.4$$

【0095】

【表14】

実施例14

$$\begin{array}{ll} \theta_{//} = 10.1490 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\ R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 1.80 \\ R_{2//} = -0.8 & R_{2\perp} = 2.40 \\ t = 2.7 & n = 1.8 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$\frac{n R_{1\perp} - (n-1) t}{n \cdot R_{2//}} = -0.75$$

【0096】

【表15】

## 実施例 15

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 10.1490 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= \infty & R_{1\perp} &= 2.13333 \\ R_{2//} &= -0.8 & R_{2\perp} &= 6.4 \\ t &= 3.2 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$\frac{nR_{1\perp} - (n-1)t}{nR_{2//}} = -0.89$$

この結果、第5タイプでは、第1～第4タイプの場合とは異なり、ビーム形状補正レンズ4から出射する各断面での光束が、細い略円形断面の円形ビームスポット像となって光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。図35～図40に示すのは、いずれも第6タイプの実施例16～18に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項7に属するものである。

【0097】この第6タイプは、第5タイプと実質的に同タイプであり、しかも、その総合作用も第5タイプと実質的に同作用であるので、説明の煩雑さを避けるため、条件式を除いて、その構成および作用に関する詳細な説明を省略する。

【0098】この第6タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ とし、同レンズ4の軸上肉厚を $t$ としたときに、

$$-3.5 \leq (n \cdot R_{1\perp} - (n-1)t) / (n \cdot R_{2//})$$

$$2// \leq -1.05$$

なる条件式をも満たすように構成されている。

20 【0099】この場合、条件式の上限を超えると、レンズ面の傾きに起因する性能の劣化を抑えることが困難になるという問題を生じ、また、条件式の下限を超えると、ビームエキスパンダー4の軸上肉厚 $t$ が厚くなり過ぎてビーム形状補正光学系全体のコンパクト性を欠くという問題を生じる。以下、第6タイプに係るビーム形状補正レンズ4の具体的な光学的データを表16～表18に掲載する。なお、表16のデータは、図35、図36に示す同レンズ4に、また、表17のデータは、図37、図38に示す同レンズ4に、さらに、表18のデータは、図39、図40に示す同レンズ4にそれぞれ対応する。

【0100】

【表16】

## 実施例 16

$$\begin{array}{ll}
 \theta_{//} = 10.1490 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\
 R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 2.66667 \\
 R_{2//} = -0.8 & R_{2\perp} = -8.0 \\
 t = 4.0 & n = 1.8
 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$\frac{n R_{1\perp} - (n-1) t}{n R_{2//}} = -1.11$$

【0101】

【表 17】

## 実施例 17

$$\begin{array}{ll}
 \theta_{//} = 10.1490 & \theta_{\perp} = 43.3760 \\
 R_{1//} = \infty & R_{1\perp} = 3.4 \\
 R_{2//} = -0.8 & R_{2\perp} = -2.72 \\
 t = 5.1 & n = 1.8
 \end{array}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$\frac{n R_{1\perp} - (n-1) t}{n R_{2//}} = -1.42$$

【0102】

【表 18】

## 実施例 18

$$\begin{aligned} \theta_{//} &= 10.1490 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= \infty & R_{1\perp} &= 6.66667 \\ R_{2//} &= -0.8 & R_{2\perp} &= -1.250 \\ t &= 10.0 & n &= 1.8 \end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.75$$

$$\frac{n R_{1\perp} - (n-1) t}{n R_{2//}} = -2.78$$

この結果、第6タイプでは、第5タイプの場合と同様に、ビーム形状補正レンズ4から出射する各断面での光束が細い略円形断面の円形ビームスポット像となって、光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。図41～図46に示すのは、いずれも第7タイプの実施例19～21に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項8に属するものである。そして、この第7タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束2、2'を、

【0103】(ホ) 先ず、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面に形成した水平断面//と垂直断面⊥とで屈折力が異なるトロイダル面を利用して、水平断面//での光束については、その光束が同レンズ4内を進行する間に拡大的なビーム形状補正作用により光束径を少し拡大させ、また、垂直断面⊥での光束については、その光束が同レンズ4内を進行する間に縮小的なビーム形状補正作用により光束径を少し縮小させて、それぞれの光束径が同レンズ4の像側の面において略一致するような収束光束に変える。

【0104】(ヘ) さらに、光束径の略一致したそれぞれの光束が同レンズ4から出射する段階で、水平断面//における出射光束については、像側面に形成したシリンドラ面での屈折作用によりその出射光束を光ファイバーFの入射端面向う収束光束に変え、また、垂直断面⊥における出射光束については、像側の平面を経てそのまま収束方向に進行させることにより光ファイバーFの入射端面向う収束光束に変える、という総合作用を創り出し、これにより、略円形断面の円錐形状光束を直接光ファイバーFの入射端面上に集光ビームスポット像と

して集光させるようにしている。

【0105】そして、この目的を達するために、第7タイプでは、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面を、水平断面//における面R<sub>1//</sub>では光源側に凹面を向けたトロイダル面として、また、垂直断面⊥における面R<sub>1⊥</sub>では光源側に凸面を向けたトロイダル面としてそれぞれ形成し、さらに、その像側の面を、水平断面//における面R<sub>2//</sub>では光源側に凹面を向けたシリンドラ面として、また、垂直断面⊥における面R<sub>2⊥</sub>では平面としてそれぞれ形成している。

【0106】加えて、この第7タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率をnとし、同レンズ4の軸上肉厚をもとしたときに、

$$-1 \leq \{ (n-1) t \} / (n \cdot R_{1//}) \leq -0.05$$

なる条件式をも満たすように構成されている。

【0107】この場合、条件式の上限を超えると、軸外において良好な性能を保持することが困難になるという問題を生じ、条件式の下限を超えると、光源側のトロイダル面の曲率半径R<sub>1//</sub>が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じる。以下、第7タイプに係るビーム形状補正レンズ4の実施例の19～21の具体的な光学的データを表19～表21に掲載する。なお、表19のデータは、図41、図42に示す同レンズ4に、また、表20のデータは、図43、図44に示す同レンズ4に、さらに、表21のデータは、図45、図46に示す同レンズ4にそれぞれ対応する。

【0108】

【表19】

## 実施例 19

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -0.47059 & R_{1\perp} &= 2.0 \\ R_{2//} &= -0.57613 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 1.0 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.83$$

$$\frac{(n-1)t}{nR_{1//}} = -0.94$$

【0109】

【表 20】

## 実施例 20

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -2.28571 & R_{1\perp} &= 2.0 \\ R_{2//} &= -0.82305 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 2.0 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.83$$

$$\frac{(n-1)t}{nR_{1//}} = -0.39$$

【0110】

【表 21】

## 実施例 2 1

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -10.0 & R_{1\perp} &= 2.0 \\ R_{2//} &= -0.82305 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 2.5 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.83$$

$$\frac{(n-1)t}{nR_{1//}} = -0.11$$

この結果、第7タイプでは、ビーム形状補正レンズ4から出射する各断面での光束が細い略円形断面の円形ビームスポット像となって、光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。なお、この第7タイプは、小さい放射角と大きい放射角との差が著しい光源1に適用した場合に収差的に有利になるという効果を有する。

【0111】図47～図52に示すのは、いずれも第8タイプの実施例22～24に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項9に属するものである。この第8タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束2、2'を、まず、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面に形成したトロイダル面による水平断面//での僅かに縮小的なビーム形状補正作用と、垂直断面⊥での縮小的なビーム形状補正作用を利用して、それぞれの光束径が同レンズ4の像側の面において略一致するような収束光束に変える。

【0112】さらに、同レンズ4から出射する段階で、水平断面//での出射光束は、像側の面に形成したシリンダー面の屈折作用により、また、垂直断面⊥での出射光束は、そのまま平面を経て収束方向に直進させることにより、それぞれ光ファイバーFの入射端面に向う収束光束に変えるような総合作用を創り出し、これにより、略円形断面の円錐形状光束を直接光ファイバーFの入射端面上に集光させるようにしている。

【0113】そして、この目的を達するために、第8タイプでは、ビーム形状補正レンズ4の光源側の水平断面

//における面R<sub>1//</sub>および垂直断面⊥における面R<sub>1⊥</sub>を、いずれも光源側に凸面を向けたトロイダル面として形成し、さらに、その像側の面を、水平断面//における面R<sub>2//</sub>は、光源側に凹面を向けたシリンダー面に且つ垂直断面⊥における面R<sub>2⊥</sub>は、平面にそれぞれ形成している。

【0114】加えて、この第8タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率をnとし、同レンズ4の軸上肉厚をtとしたときに、

$$0.05 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq 0.8$$

なる条件式をも満すように構成されている。

【0115】この場合、条件式の上限を超えると、光源側のトロイダル面の曲率半径R<sub>1//</sub>が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じ、条件式の下限を超えると、レンズ面の偏心に起因する性能の劣化を小さく抑えることが困難になるという問題を生じる。以下、第8タイプに係るビーム形状補正レンズ4の実施例22～24の具体的な光学的データを表22～表24に掲載する。なお、表22のデータは、図47、図48に示す同レンズ4に、また、表23のデータは図49、図50に示す同レンズ4に、さらに、表24のデータは、図51、図52に示す同レンズ4にそれぞれ対応する。

【0116】

【表22】



## 実施例 2 2

$$\begin{aligned}
 \theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\
 R_{1//} &= 8.0 & R_{1\perp} &= 2.0 \\
 R_{2//} &= -0.74074 & R_{2\perp} &= \infty \\
 t &= 3.0 & n &= 1.8
 \end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.83$$

$$\frac{(n-1)t}{nR_{1//}} = 0.17$$

【0117】

【表 2 3】

## 実施例 2 3

$$\begin{aligned}
 \theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\
 R_{1//} &= 2.960 & R_{1\perp} &= 2.0 \\
 R_{2//} &= -0.48724 & R_{2\perp} &= \infty \\
 t &= 3.7 & n &= 1.8
 \end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.83$$

$$\frac{(n-1)t}{nR_{1//}} = 0.56$$

【0118】

【表 2 4】

## 実施例 24

$$\begin{aligned} \theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= 2.46154 & R_{1\perp} &= 2.0 \\ R_{2//} &= -0.32922 & R_{2\perp} &= \infty \\ t &= 4.0 & n &= 1.8 \end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.83$$

$$\frac{(n-1)t}{nR_{1//}} = 0.72$$

この結果、第8タイプでは、ビーム形状補正レンズ4から出射する各断面での光束が細い略円形断面の円形ビームスポット像となって、光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。

【0119】図53～図56に示すのは、いずれも第9タイプの実施例25～26に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項10に属するものである。この第9タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束2、2'を、

【0120】(ト) 先ず、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面に形成した水平断面//と垂直断面⊥とで屈折力が異なるトロイダル面を利用して、水平断面//での光束については、その光束が同レンズ4内を進行する間に拡大的なビーム形状補正作用により光束径を少し拡大させ、また、垂直断面⊥での光束については、その光束が同レンズ4内を進行する間に縮小的なビーム形状補正作用により光束径を少し縮小させて、それぞれの光束径が同レンズ4の像側の面において略一致するような収束光束に変える。

【0121】(チ) さらに、光束径の略一致したそれぞれの光束が同レンズ4から出射する段階で、水平断面

$$0.2 \leq \frac{R_{1//}}{R_{1\perp} - R_{1//} + \{1 - (1/n)\}t} \leq 0.95$$

なる2つの条件式をも満たすように構成されている。

【0124】この場合、第1条件式(上段に記載された条件式。以下同じ)の上限を超えると、軸外において良好な性能を保持することが困難になるという問題を生じ、また、この条件式の下限を超えると、光源側のトロイダル面の曲率半径 $R_{1//}$ が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じる。

【0125】一方、第2条件式(下段に記載された条件

20

30

//と垂直断面⊥とで屈折力が異なる像側の面に形成したトロイダル面での屈折作用により、それぞれの出射光束を光ファイバーFの入射端面向う収束光束に変える、という総合作用をもって、略円形断面の円錐形状光束を直接光ファイバーFの入射端面上に集光させるようにしている。

【0122】そして、この目的を達するために、第9タイプでは、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面を、水平断面//における面 $R_{1//}$ では光源側に凹面を向けたトロイダル面として、また、垂直断面⊥における面 $R_{1\perp}$ では光源側に凸面を向けたトロイダル面としてそれぞれ形成すると共に、その像側の面 $R_{2//}$ 、 $R_{2\perp}$ を、いずれも光源側に凹面を向けたトロイダル面として形成している。この像側の面にトロイダル面を用いた点がこの第9タイプと第7タイプとの相違点である。

【0123】加えて、この第7タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ とし、同レンズ4の軸上肉厚を $t$ としたときに、

$$-1 \leq \{ (n-1)t \} / \{ n \cdot R_{1//} \} \leq -0.05$$

式。以下同じ)の上限を超えると、レンズ面の偏心に起因する性能の劣化を小さく抑えることが困難になるという問題を生じ、また、この条件式の下限を超えると、ビームエキスパンダー4の垂直断面⊥における光源側および像側のトロイダル面の曲率半径 $R_{1\perp}$ 、 $R_{2\perp}$ が小さくなって加工が困難になるという問題を生じる。

【0126】以下、第9タイプに係るビーム形状補正レンズ4の実施例25および26の具体的な光学的データ

50

を表 25 および表 26 に掲載する。なお、25 のデータは、図 53、図 54 に示す同レンズ 4 に、また、表 26 のデータは図 55、図 56 に示す同レンズ 4 にそれぞれ

対応する。

【0127】

【表 25】

#### 実施例 25

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -14.44444 & R_{1\perp} &= 2.4375 \\ R_{2//} &= -0.83382 & R_{2\perp} &= -7.72973 \\ t &= 3.25 & n &= 1.80\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.9$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} = 0.886$$

$$\frac{(n-1) t}{n R_{1//}} = -0.10$$

【0128】

【表 26】

#### 実施例 26

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -3.34074 & R_{1\perp} &= 4.920 \\ R_{2//} &= -1.03270 & R_{2\perp} &= -2.28174 \\ t &= 4.51 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.9$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} = 0.439$$

$$\frac{(n-1) t}{n R_{1//}} = -0.6$$

この結果、第 9 タイプでは、同レンズ 4 から出射する各断面での光束が細い略円形断面の円形ビームスポット像となって、光ファイバー F の入射端面上に集光することになる。なお、この第 9 タイプは、第 7 タイプと同様

に、小さい放射角と大きい放射角との差が著しい光源 1 に適用した場合に収差的に有利になるという効果を有する。

50 【0129】図 57 ～ 図 60 に示すのは、いずれも第 1

0タイプの実施例ビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項11に属するものである。この第10タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束2、2'を、先ず、それぞれの光束がビーム形状補正レンズ4内を進行する間に、同レンズ4の光源側の面に形成したトロイダル面による水平断面//および垂直断面⊥でのそれぞれの縮小的なビーム形状補正作用を利用して、それぞれの光束径が同レンズ4の像側の面において略一致するような収束光束に変える。

【0130】さらに、光束径の略一致したそれぞれの光束が同レンズ4から出射する段階で、それぞれの出射光束を、像側の面に形成したトロイダル面の水平断面//および垂直断面⊥での屈折作用により、それぞれ光ファイバーFの入射端面に向う収束光束に変えるという総合作用をもって、略円形断面の円錐形状光束を直接光ファイバーFの入射端面上に集光させるようにしている。この

$$0.2 \leq \frac{R_{2//}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} \leq 0.95$$

なる2つの条件式をも満たすように構成されている。

【0133】この場合、第1条件式の上限を超えると、水平断面//における光源側でのトロイダル面の曲率半径 $R_{1//}$ が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じ、また、この条件式の下限を超えると、レンズ面の偏心に起因する性能の劣化を小さく抑えることが困難になるという問題を生じる。

【0134】一方、第2条件式の上限を超えると、レンズ面の偏心に起因する性能の劣化を小さく抑えることが困難になるという問題を生じ、また、この条件式の下限を超えると、ビームエキスパンダー4の垂直断面⊥にお

総合作用は、光源側の面におけるビーム形状補正作用に違いはあるが、基本的には前述した第9タイプの場合と同様である。

【0131】そしてこの目的を達するために、第10タイプでは、ビーム形状補正レンズ4の光源側の水平断面//における面 $R_{1//}$ および垂直断面⊥における面 $R_{1\perp}$ を、いずれも光源側に凸面を向けたトロイダル面として形成すると共に、その像側の面 $R_{2//}$ 、 $R_{2\perp}$ を、いずれも光源側に凹面を向けたトロイダル面として形成している。

【0132】加えて、この第10タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ とし、同レンズ4の軸上肉厚を $t$ としたときに、

$$0.05 \leq \{ (n-1) t \} / n \cdot R_{1//} \leq 1$$

ける光源側および像側のトロイダル面の曲率半径

$R_{1\perp}$ 、 $R_{2\perp}$ が小さくなって加工が困難になるという問題を生じる。以下、第10タイプに係るビーム形状補正レンズ4の実施例27、28に係る具体的な光学的データを表27および表28に掲載する。なお、表27のデータは図57、図58に示す同レンズ4に、また、表28のデータは図59、図60に示す同レンズ4にそれぞれ対応する。

【0135】

30 【表27】

## 実施例 27

$$\begin{aligned}
 \theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\
 R_{1//} &= 15.35354 & R_{1\perp} &= 2.51934 \\
 R_{2//} &= -0.75114 & R_{2\perp} &= -4.99188 \\
 t &= 3.8 & n &= 1.8
 \end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.9$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} = 0.857$$

$$\frac{(n-1) t}{n R_{1//}} = 0.11$$

【0136】

【表28】

## 実施例 28

$$\begin{aligned}
 \theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\
 R_{1//} &= 5.79710 & R_{1\perp} &= 4.51883 \\
 R_{2//} &= -0.28770 & R_{2\perp} &= -0.47510 \\
 t &= 9.0 & n &= 1.8
 \end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 0.9$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} = 0.478$$

$$\frac{(n-1) t}{n R_{1//}} = 0.69$$

この結果、第10タイプでは、ビーム形状補正レンズ4から出射する各断面での光束が細い略円形断面の円形ビームスポット像となって、光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。図61～図64に示すのは、いずれも第11タイプの実施例29および30に係るビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項12に属するものである。

【0137】この第11タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束2、2'を、そのビーム形状補正作用にそれぞれ違いはあるが、基本的には第9および第10タイプの場合と同様の総合作用をもって、略円形断面の円錐形状光束を直接光ファイバーFの入射端面上に集光させるようにしている。

【0138】そして、この目的を達するために、第11タイプでは、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面を、水平断面//における面 $R_{1//}$ では光源側に凹面を向けたトロイダル面として、また、垂直断面⊥における面 $R_{1⊥}$ では光源側に凸面を向けたトロイダル面としてそれぞれ形成し、その像側の面を、水平断面//における面 $R_{2//}$ では光源側に凹面を向けたトロイダル面として、また、垂直断面⊥における面 $R_{2⊥}$ では光源側に凸面を向

$$R_{2//}$$

$$1.05 \leq \frac{R_{2⊥} - R_{1⊥} + \{1 - (1/n)\} t}{R_{2//} - R_{1//}} \leq 2.8$$

なる2つの条件式をも満たすように構成されている。

【0140】この場合、第1条件式の上限を超えると、軸外において良好な性能を保持することが困難になるという問題を生じ、この条件式の下限を超えると、光源側のトロイダル面の曲率半径 $R_{1//}$ が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じる。一方、第2条件式の上限を超えると、ビームエキスパンダー4の垂直断面⊥における曲率半径 $R_{1⊥}$ 、 $R_{2⊥}$ が小さくなって加工が困難になるという問題を生じ、また、この条件式の下限

20

けたトロイダル面としてそれぞれ形成している。

【0139】加えて、この第11タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ とし、同レンズ4の軸上肉厚を $t$ としたときに、

$$-1 \leq \frac{(n-1)t}{n(R_{1//} - R_{2//})} \leq -0.05$$

困難になるという問題を生じる。

【0141】以下、第11タイプに係るビーム形状補正レンズ4の実施例29および30に係る具体的な光学的データを表29および表30に掲載する。なお、表29のデータは図61、図62に示す同レンズ4に、また、表30のデータは図63、図64に示す同レンズ4にそれぞれ対応する。

【0142】

【表29】

実施例29

$\theta_{//} = 13.5730$	$\theta_{\perp} = 43.3760$
$R_{1//} = -10.45926$	$R_{1\perp} = 2.40806$
$R_{2//} = -0.85463$	$R_{2\perp} = 9.55176$
$t = 3.53$	$n = 1.80$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.1$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} = 1.096$$

$$\frac{(n-1)t}{n R_{1//}} = -0.15$$

【0143】

【表30】

## 実施例 30

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= -1.22090 & R_{1\perp} &= 1.52099 \\ R_{2//} &= -0.99799 & R_{2\perp} &= 0.76017 \\ t &= 1.54 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.1$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\}t} = 2.16$$

$$\frac{(n-1)t}{nR_{1//}} = -0.45$$

この結果、第11タイプでは、ビーム形状補正レンズ4から出射する各断面での光束が細い略円形断面の円形ビームスポット像となって、光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。なお、この第11タイプは、第7タイプと同様に、小さい放射角と大きい放射角との差が著しい光源1に適用した場合に収差的に有利になるという効果を有する。

【0144】図65～図68に示すのは、いずれも第12タイプの2つの実施例31および32ビーム形状補正レンズ4であって、特許請求の範囲の請求項13に属するものである。この第12タイプでは、コリメータレンズ3を経た段階で、例えば略楕円形断面になっている光源1からの平行光束2、2'を、そのビーム形状補正作用にそれぞれ違いはあるが、基本的には第9～第11タイプの場合と同様な総合作用をもって、略円形断面の円錐形状光束を直接光ファイバーFの入射端面上に集光さ

$$1.05 \leq \frac{R_{2//}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\}t} \leq 2.8$$

なる2つの条件式をも満たすように構成されている。

【0147】この場合、第1条件式の上限を超えると、光源側のトロイダル面の曲率半径 $R_{1//}$ が小さくなり過ぎて加工が困難になるという問題を生じ、条件式の下限を超えると、レンズ面の偏心に起因する性能の劣化を小さく抑えることが困難になるという問題を生じる。一方、第2条件式の上限を超えると、ビームエキスパンダー4の垂直断面 $\perp$ における曲率半径 $R_{1\perp}$ 、 $R_{2\perp}$ が小さくなって加工が困難になるという問題を生じ、また、この条件式の下限を超えると、軸外において良好な性能を

せるようにしている。

【0145】そして、この目的を達するために、第12タイプでは、ビーム形状補正レンズ4の光源側の面を、水平断面 $//$ および垂直断面 $\perp$ において、いずれも光源側に凸面を向けたトロイダル面としてそれぞれ形成し、その像側の面を、水平断面 $//$ における面 $R_{2//}$ では光源側に凹面を向けたトロイダル面として、また、垂直断面 $\perp$ における面 $R_{2\perp}$ では光源側に凸面を向けたトロイダル面としてそれぞれ形成している。

【0146】加えて、この第12タイプのビーム形状補正レンズ4では、前述した(3)式を満たし、さらに、同レンズ4に使用される光学材料の屈折率を $n$ とし、同レンズ4の軸上肉厚を $t$ としたときに、

$$0.05 \leq \{(n-1)t\} / (n \cdot R_{1//}) \leq 1$$

保持することが困難になるという問題を生じる。

【0148】以下、第12タイプに係るビーム形状補正レンズ4の実施例31および32に係る具体的な光学的データを表31および表32に掲載する。なお、表31のデータは図65、図66に示す同レンズ4に、また、表32のデータは図67、図68に示す同レンズ4にそれぞれ対応する。

【0149】

【表31】

## 実施例31

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= 10.01709 & R_{1\perp} &= 1.92131 \\ R_{2//} &= -0.75641 & R_{2\perp} &= 5.60242 \\ t &= 2.93 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.1$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} = 1.12$$

$$\frac{(n-1) t}{n R_{1//}} = 0.13$$

【0150】

【表32】

## 実施例32

$$\begin{aligned}\theta_{//} &= 13.5730 & \theta_{\perp} &= 43.3760 \\ R_{1//} &= 1.24444 & R_{1\perp} &= 0.76364 \\ R_{2//} &= -1.120 & R_{2\perp} &= 0.21875 \\ t &= 1.4 & n &= 1.8\end{aligned}$$

$$\frac{|f_{\perp}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{//})}{|f_{//}| \cdot \sin(0.85 \times \theta_{\perp})} = 1.1$$

$$\frac{R_{2\perp}}{R_{2\perp} - R_{1\perp} + \{1 - (1/n)\} t} = 2.83$$

$$\frac{(n-1) t}{n R_{1//}} = 0.5$$

この結果、第12タイプでは、ビーム形状補正レンズ4から出射する各断面での光束が細い略円形断面の円形ビームスポット像となって、光ファイバーFの入射端面上に集光することになる。

【0151】以上、種々の具体例について説明したが、このように構成の図示実施例のビーム形状補正光学系では、非等方な放射角を持つ光源から放射され且つ光軸回

転対称形のコリメータレンズにより非円形断面の平行光束に変えられた光束を、ビーム形状補正光学系の持つビーム形状補正作用を利用して、略円形断面の平行光束に変化させて、この略円形断面の平行光束を集光レンズにより、光結合対象物に集光ビームスポット像として結像させるか、或いは、コリメータレンズにより平行光束に変えられた光束を、ビーム形状補正光学系のビーム形状



補正作用を利用しながら且つビーム形状補正光学系に予め付与した集光作用を利用して、略円形断面を持つ収束光束に変化させて、集光レンズを用いずに、光結合対象物に集光ビームスポット像として結像させることが可能になる。

【0152】以上、図示の複数の実施例に基づいて説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲内において種々に変更実施することができることを付記する。

【0153】

【発明の効果】以上述べたように、本発明のビーム形状補正光学系では、簡素な構成の光学系を用いながら、非等方な放射角を持つ光源からの光束を略円形断面の集光ビームスポット像として集光させることが可能となり、従来の技術では簡単ではないとされて来た非等方な放射角を持つ光源と光ファイバーとの光結合時の高効率光結合を実現することができ、加えて、実現するに際して、光学系構成を可能な限り簡素にすることによる光学部品コストおよび組立てコストをそれぞれ低減することも可能になった。

【0154】この結果、非等方な放射角を持つ光源と光ファイバーとの光結合光学系として、好適な性能を有するビーム形状補正光学系が得られるという大きな効果を奏するに至った。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のビーム形状補正光学系に係る基本光学系の一構成例における水平断面での光学系構成と水平断面での光束の進行状態とを示す光路図である。

【図2】図1のビーム形状補正光学系に係る基本光学系の一構成例における垂直断面での光学系構成と垂直断面での光束の進行状態とを示す光路図である。

【図3】図1とは異なるビーム形状補正光学系に係る基本光学系の構成例における水平断面での光学系構成と水平断面での光束の進行状態とを示す光路図である。

【図4】図3のビーム形状補正光学系に係る基本光学系の構成例における垂直断面での光学系構成と垂直断面での光束の進行状態とを示す光路図である。

【図5】第1タイプに係る実施例1の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図6】図5に示す実施例1の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図7】第1タイプに係る実施例2の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図8】図7に示す実施例2の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図9】第1タイプに係る実施例3の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図10】第9図に示す実施例3の具体例の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図11】第2タイプに係る実施例4の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図12】図11に示す実施例4の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図13】第2タイプに係る実施例5の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図14】図13に示す実施例5の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図15】第2タイプに係る実施例6の具体例の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図16】図15に示す実施例6の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図17】第3タイプに係る実施例7の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図18】図17に示す実施例7の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図19】第3タイプに係る実施例8の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図20】図19に示す実施例8の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図21】第3タイプに係る実施例9の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図22】図21に示す実施例9の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図23】第4タイプに係る実施例10の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図24】図23に示す実施例10の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図25】第4タイプに係る実施例11の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図26】図25に示す実施例11の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図27】第4タイプに係る実施例12の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図28】図27に示す実施例12の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図29】第5タイプに係る実施例13の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図30】図29に示す実施例13の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図31】第5タイプに係る実施例14の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図32】図31に示す実施例14の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 33】第 5 タイプに係る実施例 15 の具体例の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 34】図 33 に示す実施例 15 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 35】第 6 タイプに係る実施例 16 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 36】図 35 に示す実施例 16 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 37】第 6 タイプに係る実施例 17 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 38】図 37 に示す実施例 17 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 39】第 6 タイプに係る実施例 18 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 40】図 39 に示す実施例 18 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 41】第 7 タイプに係る実施例 19 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 42】図 41 に示す実施例 19 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 43】第 7 タイプに係る実施例 20 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 44】図 43 に示す実施例 20 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 45】第 7 タイプに係る実施例 21 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 46】図 45 に示す実施例 21 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 47】第 8 タイプに係る実施例 22 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 48】図 47 に示す実施例 22 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 49】第 8 タイプに係る実施例 23 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 50】図 49 に示す実施例 23 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 51】第 8 タイプに係る実施例 24 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 52】図 51 に示す実施例 24 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 53】第 9 タイプに係る実施例 25 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 54】図 53 に示す実施例 25 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 55】第 9 タイプに係る実施例 26 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 56】図 55 に示す実施例 26 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 57】第 10 タイプに係る実施例 27 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 58】図 57 に示す実施例 27 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 59】第 10 タイプに係る実施例 28 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 60】図 59 に示す実施例 28 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 61】第 11 タイプに係る実施例 29 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 62】図 61 に示す実施例 29 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 63】第 11 タイプに係る実施例 30 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 64】図 63 に示す実施例 30 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 65】第 12 タイプに係る実施例 31 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 66】図 65 に示す実施例 31 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 67】第 12 タイプに係る実施例 32 の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 68】図 67 に示す実施例 32 の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 69】等方な放射角を持つ光源を用い且つ光軸回転対称形の結像光学系を使用した場合における光学系構成と、光源からの光束の進行状態とを説明するための光路図である。

【図 70】非等方な放射角を持つ光源を用い且つ光軸回転対称形の結像光学系を使用した場合の水平断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光路図である。

【図 71】非等方な放射角を持つ光源を用い且つ光軸回転対称形の図 71 に示す結像光学系を使用した場合の垂直断面における光学系構成と光束の進行状態とを示す光

路図である。

【符号の説明】

- 1 半導体レーザー（非等方な放射角を持つ光源）
- 2、2' 放射光束
- 3 コリメータレンズ
- 4 ビーム形状補正レンズ
- 5 集光レンズ

F 光ファイバー

P 光軸

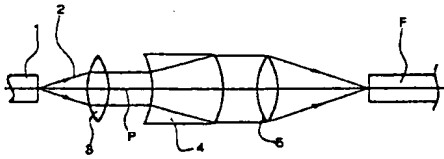
// 水平断面

⊥ 垂直断面

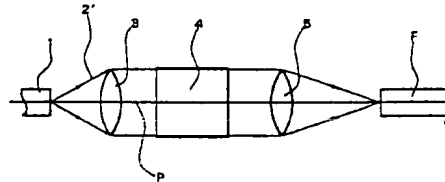
$R_1$  光源側シリンダー面の曲率半径

$R_2$  像側シリンダー面の曲率半径

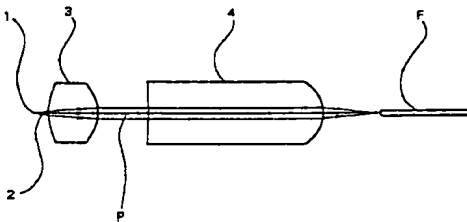
【図1】



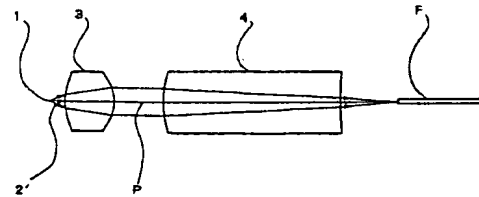
【図2】



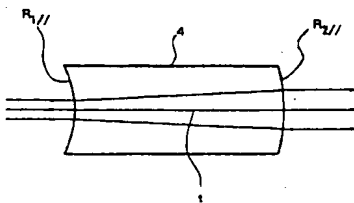
【図3】



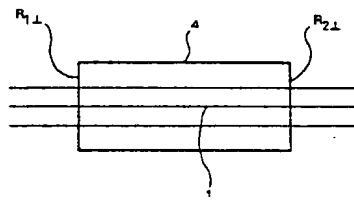
√【図4】



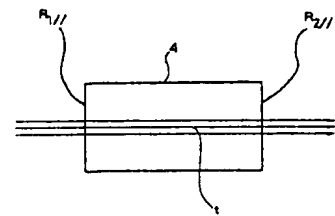
【図5】



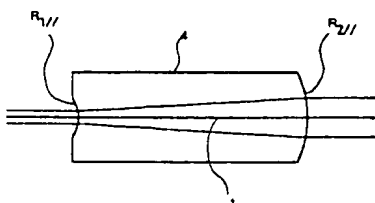
30  
【図6】



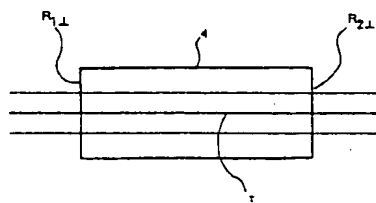
√【図11】



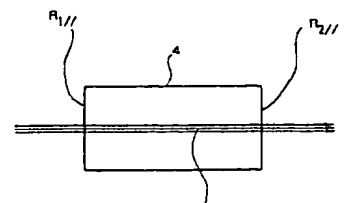
【図7】



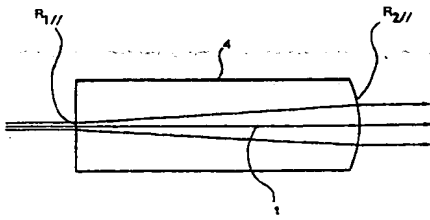
【図8】



【図13】



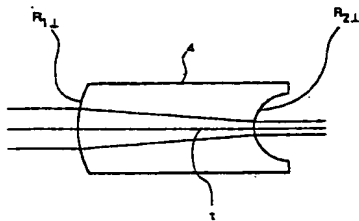
【図 9】



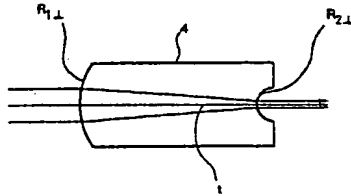
【図 10】



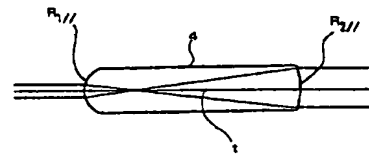
【図 12】



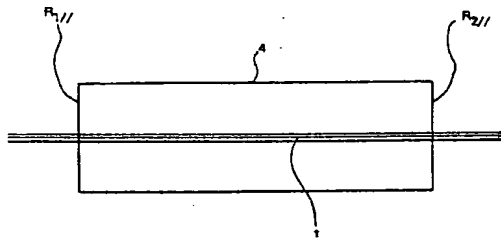
【図 14】



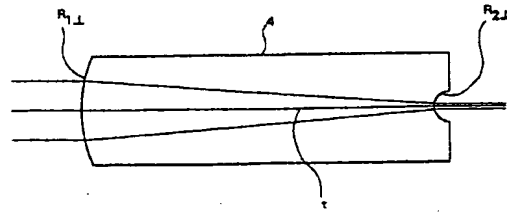
【図 17】



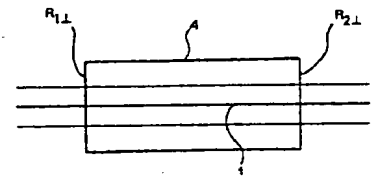
【図 15】



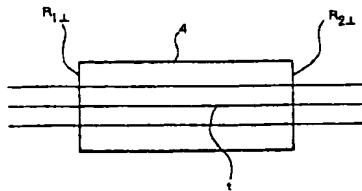
【図 16】



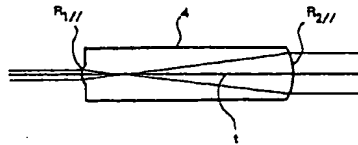
【図 20】



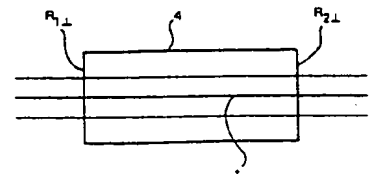
【図 18】



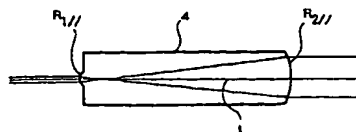
【図 19】



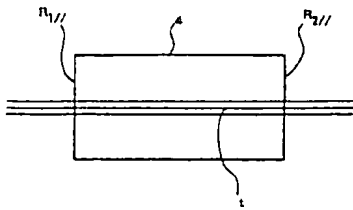
【図 22】



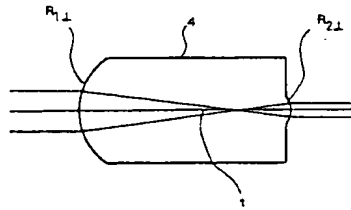
【図 21】



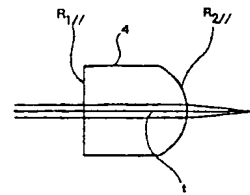
【図 23】



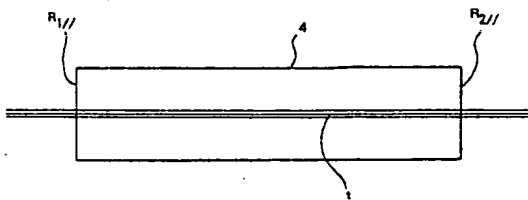
【図 24】



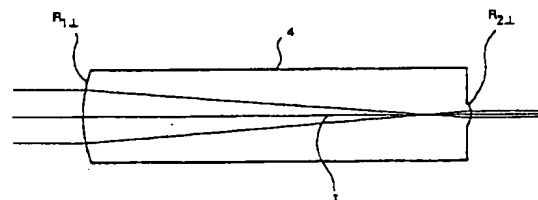
【図 29】



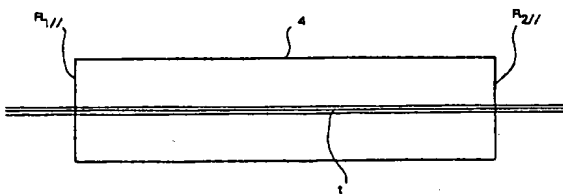
【図 25】



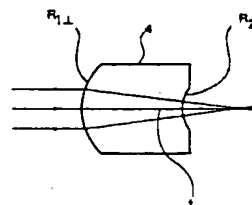
【図 26】



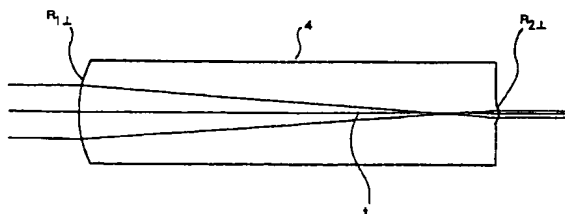
【図 27】



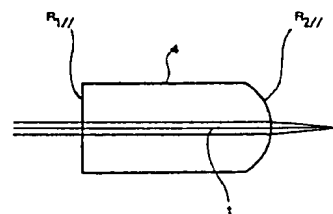
【図 30】



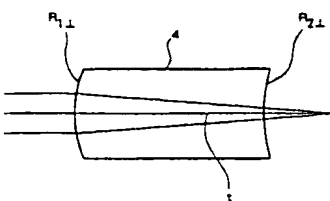
【図 28】



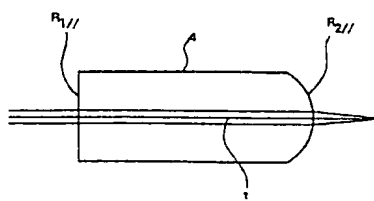
【図 31】



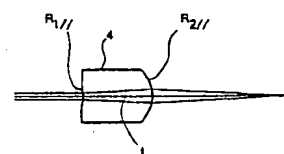
【図 32】



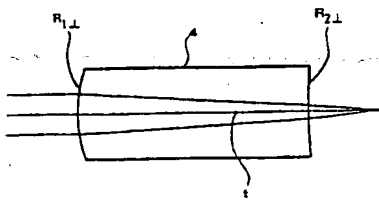
【図 33】



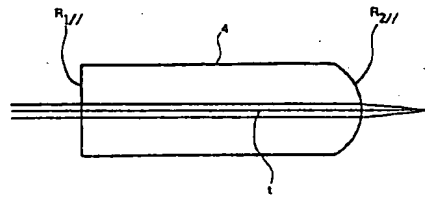
【図 41】



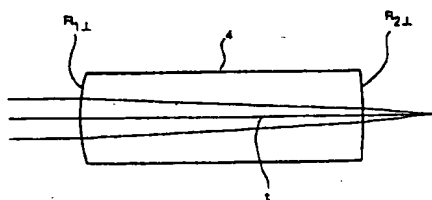
【図 34】



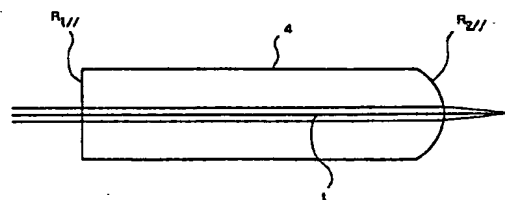
【図 35】



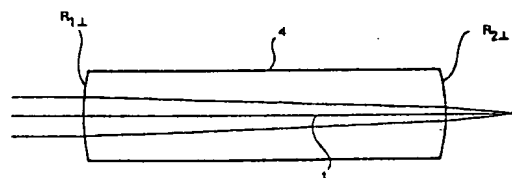
【図 36】



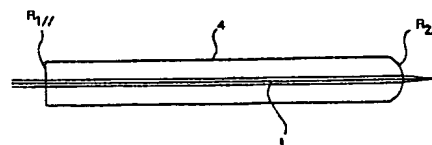
【図 37】



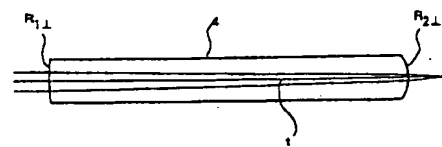
【図 38】



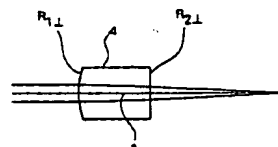
【図 39】



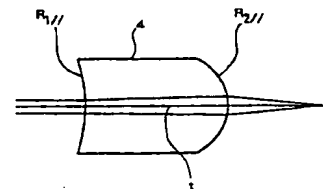
【図 40】



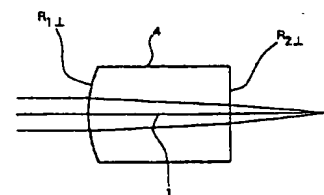
【図 42】



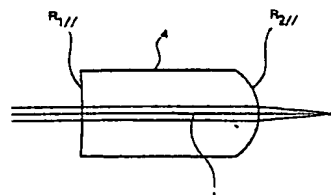
【図 43】



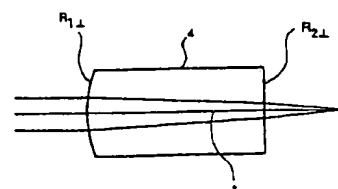
【図 44】



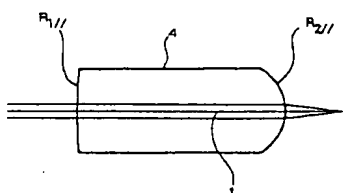
【図 45】



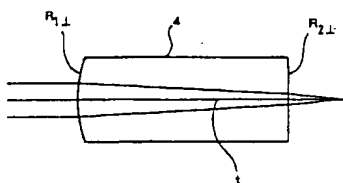
【図 46】



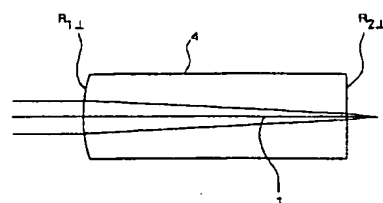
【図 47】



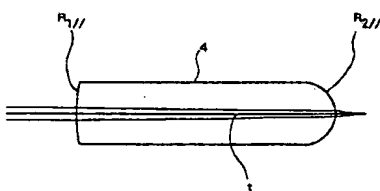
【図 48】



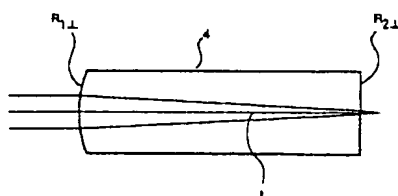
【図 50】



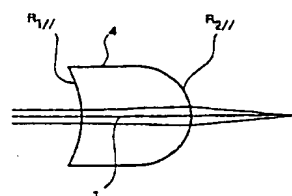
【図 49】



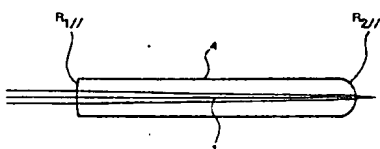
【図 52】



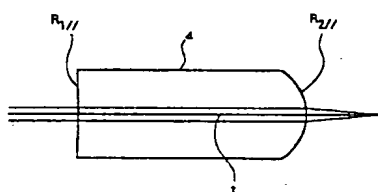
【図 63】



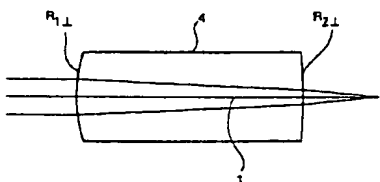
【図 51】



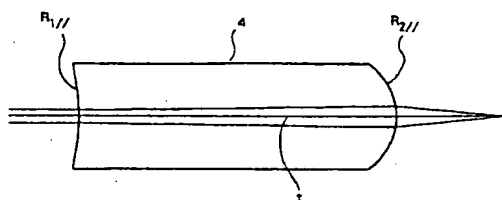
【図 53】



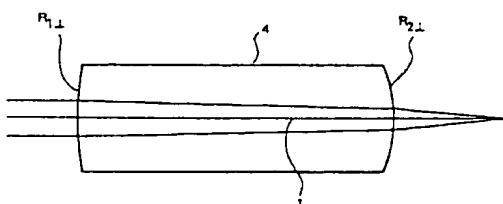
【図 54】



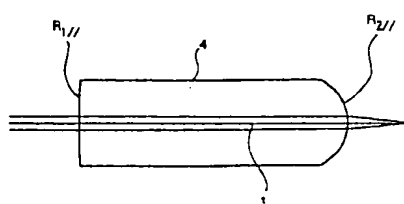
【図 55】



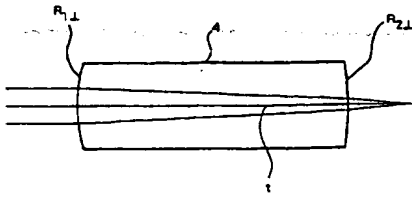
【図 56】



【図 57】



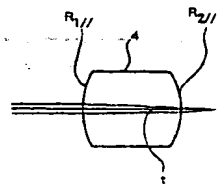
【図 58】



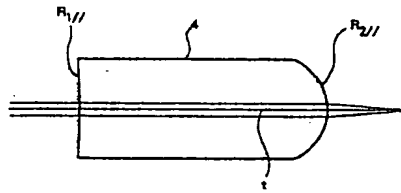
【図 59】



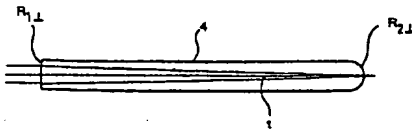
【図 67】



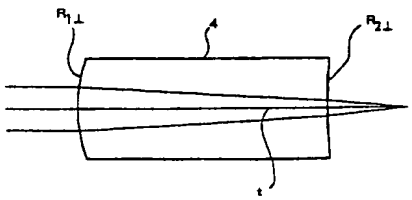
【図 61】



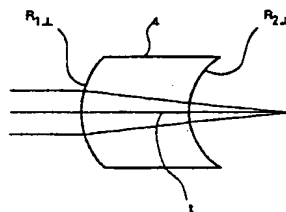
【図 60】



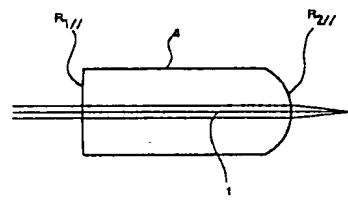
【図 62】



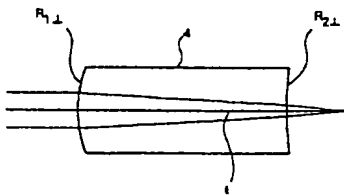
【図 64】



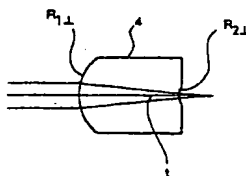
【図 65】



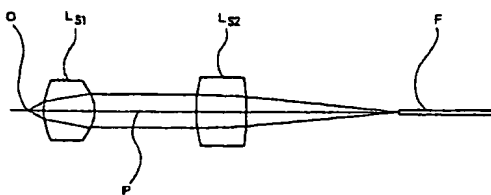
【図 66】



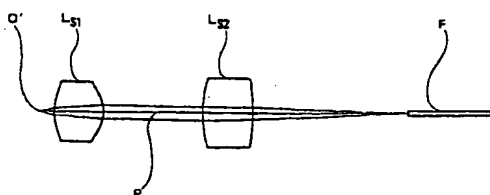
【図 68】



【図 69】



【図 70】





【図 7 1】

